

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

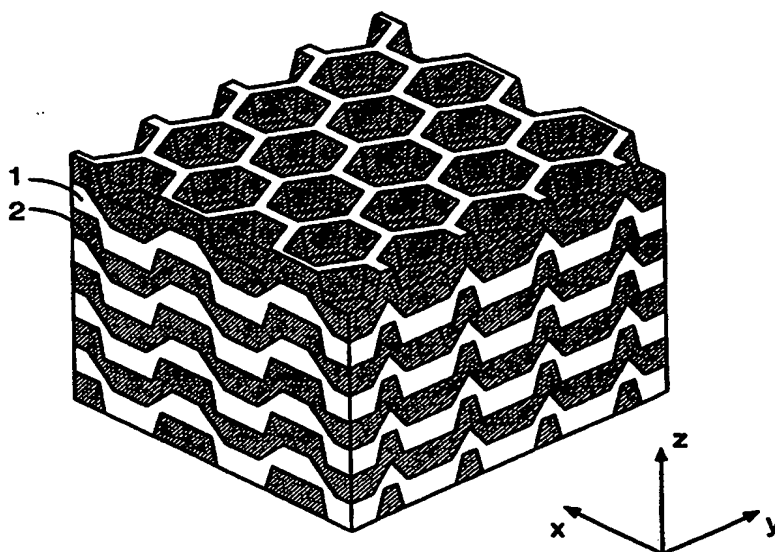
<b>(51) 国際特許分類</b> <b>G02B 6/12</b>	<b>A1</b>	<b>(11) 国際公開番号</b> <b>WO98/44368</b>  <b>(43) 国際公開日</b> 1998年10月8日(08.10.98)
<b>(21) 国際出願番号</b> PCT/JP98/01278  <b>(22) 国際出願日</b> 1998年3月24日(24.03.98)  <b>(30) 優先権データ</b> 特願平9/114951      1997年3月29日(29.03.97)      JP 特願平10/40736      1998年2月23日(23.02.98)      JP  <b>(71) 出願人；および</b> <b>(72) 発明者</b> 川上彰二郎(KAWAKAMI, Shojiro)[JP/JP] 〒984-0065 宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛宕橋マンションファラオC-09 Miyagi, (JP) <b>(72) 発明者；および</b> <b>(75) 発明者／出願人（米国についてののみ）</b> 榊 裕之(SAKAKI, Hiroyuki)[JP/JP] 〒224-0055 神奈川県横浜市都築区加賀原1丁目41番5号 Kanagawa, (JP) 白石和男(SHIRAISHI, Kazuo)[JP/JP] 〒340-0206 埼玉県北葛飾郡鷺宮町西大輪868番地 Saitama, (JP)		<b>(74) 代理人</b> 弁理士 福森久夫(FUKUMORI, Hisao) 〒102-0074 東京都千代田区九段南4丁目5番11号 富士ビル2F Tokyo, (JP)  <b>(81) 指定国</b> US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  添付公開書類 国際調査報告書

**(54)Title: THREE-DIMENSIONAL PERIODICAL STRUCTURE, ITS MANUFACTURING METHOD, AND METHOD OF MANUFACTURING FILM**

**(54)発明の名称**    3次元周期構造体及びその作製方法並びに膜の製造方法

**(57) Abstract**

A three-dimensional periodical structure whose period is about 1 mm or smaller is provided. Two or more films which have two-dimensionally substantially periodical projections are successively formed in layers substantially periodically to construct a structure which is substantially three-dimensionally periodical. For instance, the films are made of materials different in refractive index. The three-dimensional periodical structure whose period is about 1 mm or smaller can be obtained by a simple manufacturing method. By this structure, the propagation of a wave with a specific wavelength in a plurality of axial directions and in many solid angular directions including the thickness direction of the layers can be cut off.



# (57)要約

周期が1 mm程度ないしそれ以下の3次元周期構造を提供する。

2次元的にはほぼ周期的な凹凸を持つ2種類以上の膜状物質をほぼ周期的に順次に積層した構造を持つ、3次元的にはほぼ周期的な構造体から成る。一例として、屈折率の異なる材料1と材料2から構成される。

簡単な製造方法により、周期が1 mm程度ないしそれ以下の3次元周期構造体を得られる。この構造によって、着目する波長に対して、基板の面内の複数の軸方向および積層の方向を含む多くの立体角方向への伝搬を遮断させることができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AM	アルメニア	FR	フランス	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AT	オーストリア	GA	ガボン	LT	リトアニア	SN	セネガル
AU	オーストラリア	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサオ			TT	トリニダード・トバゴ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	UA	ウクライナ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	US	米国
CA	カナダ	ID	インドネシア	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CG	コンゴ	IL	イスラエル	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CH	スイス	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZW	ジンバブエ
CI	コートジボアール	IT	イタリア	NO	ノルウェー		
CM	カメルーン	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CN	中国	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
CZ	チェッコ	KR	韓国	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
DK	デンマーク	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		
ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア		

## 明細書

## 3次元周期構造体及びその作製方法並びに膜の製造方法

## 5 技術分野

本発明は、例えば、光波回路素子として用いられる3次元的にほぼ周期的な屈折率分布を持つ構造、およびその製造方法と応用技術・応用デバイスにわたるジェネリックな（包括生成的な）技術に関するものである。

## 10 背景技術

物質内において周期が $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の3次元周期構造を作製する技術は光技術・電子技術分野において潜在的な応用範囲は広い。しかしながら、その作製方法はまだ開発されていないため、周期が $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の3次元周期構造は実現されるに至っておらず、これまで検討されたものの内主要なものは次の二つである。（1）図54に示すような、3方向からドライエッチングで穴を形成するもの（E. Yablonovitch, "Photonic band-gap structures", J. Opt. Soc. Am. B, vol. 10, no. 2, pp. 283-295, 1993）。（2）図55に示すような、すだれ状の基板を対向・ボンディングし、選択エッチングで基板の一方を除去し、再び対向・ボンディングさせる、という操作を繰り返すもの（S. Noda, N. Yamamoto, and A. Sasaki, "New realization method for three-dimensional photonic crystal in optical wavelength region", Jpn. J. Appl. Phys., vol. 35, pp. L909-L912, 1996）。これら2種の概念は、周期が $1\text{ mm}$ 程度ないしそれ以下で周期数が5以上のものは現在まで実現されていない。

前項（1）の方法では、3～4周期を超える加工は不可能であるという問題点がある。また、前項（2）の方法では、選択化学エッチングやボンディングという制御性の低い手工業プロセスに多数回頼るため、再現性・生産性が低いという問題点がある。

本発明は、上記従来技術の課題を解決すべくなされたものであり、周期が $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の3次元周期構造体とその応用部品・デバイスを提供する

こと、および、それらの作製方法を提供することが目的である。

#### 発明の開示

上記目的を達成するためには、信頼性・再現性に優れた方法で3次元的に周期的な構造体を実現することが必要である。このためには、2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いる方法が有効である。この方法によって、周期が1  $\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の3次元周期構造体を作製することができる。

#### 10 作用

前項の手段によって3次元周期構造体を構成すれば、周期が1  $\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下のものが簡便に再現性よく実現できる。また、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または発光性あるいは光増幅性物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質などを周期構造の中に取り込むことができ、さらに、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器、または半導体レーザ、または受光器などを周期構造中に作り込むことができるため、3次元周期構造体の応用部品・デバイスを信頼性・再現性にすぐれた方法で作製することができる。本発明は共通の根幹から発して多様な発展を内包するジェネリック（包括生成的）なものであり、このことはこれに続く実施例を通じて明示される。

#### 図面の簡単な説明

図1は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図2は、スパッタリング法を示す説明図。

25 図3は、バイアススパッタリング法を示す説明図。

図4は、従来のバイアススパッタ法の適用例を示す説明図。

図5は、従来のバイアススパッタ法の適用例を示す説明図。

図6は、真空蒸着法を示す説明図。

図7は、レーザアブレーション法を示す説明図。

- 図 8 は、エッチング率の角度依存性を示す説明図。
- 図 9 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 10 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 図 11 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 5 図 12 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 図 13 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 図 14 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 図 15 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 図 16 は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。
- 10 図 17 は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。
- 図 18 は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。
- 図 19 は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。
- 図 20 は、発明の一つの実施例で使用する基板を示す説明図。
- 図 21 は、発明の作製メカニズムを示す説明図。
- 15 図 22 は、3次元周期構造の特性を説明するための図。
- 図 23 は、 $x$   $y$  面内に六方対称、 $z$  方向に周期的な構造のブリュアン域を示す説明図。
- 図 24 は、発明の一つの実施例を示す説明図であり、点線の円は実線で示すべき円孔が本来の位置に存在しないことをあらわす。
- 20 図 25 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 26 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 27 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 28 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 29 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 25 図 30 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 31 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 32 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 33 は、発明の一つの実施例を示す説明図。
- 図 34 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 3 5 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 3 6 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 3 7 は、発明の一つの実施例で使用する選択的積層を示す説明図であり、T は山、V は谷である。

- 5 図 3 8 は、発明の一つの実施例で使用する選択的エッチングを示す説明図であり、実線の輪郭が破線状に変化する。

図 3 9 は、発明の一つの実施例で使用する選択的エッチングを示す説明図であり、実線の輪郭が破線状に変化する。

図 4 0 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

- 10 図 4 1 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 4 2 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 4 3 は、発明の一つの実施例を示す説明図であり、だ円は島状薄膜金属を表し、曲面上に点在する。

図 4 4 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

- 15 図 4 5 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 4 6 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 4 7 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 4 8 は、発明の一つの実施例を示す説明図であり、A、B（即ち 1、2）の界面に機能物質 F を挿入する方法が（ロ）、A または B を F で構成する方法が  
20 （ハ）である。

図 4 9 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 5 0 は、発明の一つの実施例の作製法を示す説明図。

図 5 1 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 5 2 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

- 25 図 5 3 は、発明の一つの実施例を示す説明図。

図 5 4 は、発明を使用しない 3 次元周期構造の作製方法を示す説明図。

図 5 5 は、発明を使用しない 3 次元周期構造の作製方法を示す説明図。

（符号の説明）

1 物質 A（例えば  $\text{SiO}_2$ ）、 2 物質 B（例えば Si）、



- 3 基板、 4 真空容器、 5 ターゲット、 6 整合器、  
7 高周波電源、 8 基板電極、 9 誘電体、  
10 金属、 11 蒸着源、 12 レーザ、 13 原料物質、  
14 気体イオン、 15 材料粒子、 16 屈折率 $n_1$ の物質、  
5 17 屈折率 $n_2$ の物質 ( $n_1 > n_2$ )、 18 レジスト、  
19 Si、 20  $\text{SiO}_2$ 、 21 金属A (例えばAlなど)、  
22 金属B (例えばPt、Ni、W、Tiなど)、  
23 機能単位、 24 3次元フォトリソニックバンドギャップ構造、  
25  $\text{LiNbO}_3$ 、 26 Erドープ $\text{SiO}_2$ 、  
10 27 活性領域、 28 出力導波路、 29 IIIIV族基板、  
30 エピタキシャル層、 31 GaAs、 32 AlGaAs。

発明を実施するための最良の形態

[実施例1]

- 15 はじめに薄膜の形成・エッチングについて、本発明で述べているもの、本発明に適用可能なもののいくつかを概略説明する。

図2は一般的な高周波スパッタリング装置の概略図である。真空容器4内に、薄膜の原料物質の供給源であるターゲット5を、またそれに対向させて基板3を配置する。ターゲット5にはインピーダンス整合器6を介して高周波電源7が接  
20 続される。真空容器4中に一般に不活性気体 (例えばArガス) を主成分とするガス (例えばArガスに水素ガスを添加したガス) を導入し、ターゲット電極に高周波電力を供給してプラズマを生成させる。ターゲット5は時間平均的に負の電位になるため (自己バイアス効果)、正の電荷をもつ気体イオンが高いエネルギーを持ちながらターゲット5に入射し (実線矢印)、ターゲット物質を飛散さ  
25 せる。その飛散した物質粒子が基板3に到着・付着し (破線矢印)、膜が基板上に形成される。

図3にはバイアス・スパッタリング装置の概略を示す。図2の装置に基板を保持する基板電極8を加え、整合器6を介して高周波電源7に接続する。基板電極8に高周波電力を供給することで、ターゲット5の場合と同様に気体イオンを基

板 3 の表面へ入射させ（実線矢印）、基板 3 の表面から粒子を飛散させることができる。供給する高周波電力、ガス種やガス圧力、基板電極の形状などで基板に衝撃するイオンの量やエネルギーおよびスパッタの効果を制御することができる。

- 5 従来バイアス・スパッタリング法は、L S I における電極・配線のための薄膜作製プロセス（メタライゼーション）として利用されてきた。例えば、図 4 に示すように金属膜配線 10 を誘電体 9 で埋め込んで上面を平坦化させる、あるいは図 5 に示すように 2 本の配線 10 間を空洞部を生じないように埋め込むことなどの目的である。2 次元周期状凹凸をもつ基板上にスパッタエッチングを少なくとも
- 10 も一部分に適用して 3 次元構造を作製する技術は全く新しいものである。

- 図 6 には真空蒸着法の概念を示す。抵抗加熱ないし電子ビーム加熱された蒸着源 11 から原料物質が真空中に蒸散し、基板 3 に到着・付着する。図 7 にはレーザーアブレーション法の概念を示す。レーザー 12 より大出力のパルスレーザー光を原料物質 13 に入射させることにより原料物質の一部分を瞬間的に加熱・蒸散させ、基板 3 に到着・付着させる。
- 15

また、本発明において膜を整形する役割をもつスパッタエッチングについて説明する。スパッタエッチングと別種の成膜を同時に進行させることもできる。例えば、スパッタリングによる成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させる同時プロセスをバイアススパッタリングと呼ぶ。

- 20 図 3 の装置において、ターゲット 5 には高周波電力を加えることなく、基板電極 8 にのみ高周波電力を印加することにより、成膜の進行しない単独のスパッタエッチングが実現される。このスパッタエッチングは、前述したように膜の整形作用を有しており、ある程度の厚さに膜を成膜した後に行うことにより膜を所望の形状に整形することができる。

- 25 一方、ターゲット 5 へ高周波電源 7 を印加するとともに基板電極 8 にも高周波電源 7 を印加することにより成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させることができる。すなわち、バイアススパッタリングを進行させることができる。

なお、基板電極 8 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数、あるいはターゲット 5 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数と成膜される膜あるいはスパッタエ

ッチングにより整形される膜の形状との関係は、真空容器 4 内に導入されるガス圧や膜の材質によっても変化するので一律に定めることは難しいが、それぞれの条件において予め実験等により求めておけば当業者は容易に実施することができる。

- 5     スパッタエッチングにおいて、単位時間にエッチングされる面が法線方向に後退する割合を面の傾き  $\theta$  の関数として定義し、エッチング率という。エッチング率  $E(\theta)$  は多くの物質に対し図 8 に示す性質をもつ。すなわち  $0^\circ$  と  $90^\circ$  の中間にある角  $\theta_m$  で最大でそれを境に左右両方向に単調に減少する。このスパッタエッチングは、前述のスパッタリング成膜、真空蒸着、レーザアブレーション
- 10    の前または後に実行することも可能である。

- 3 次元周期構造体形成の一例を述べる。溶融石英基板上に、電子ビームリソグラフィおよびドライエッチング法により、周期的な孔の列を形成する。例えば孔の直径を  $0.2 \mu\text{m}$  とし、孔の中心間隔が  $0.5 \mu\text{m}$  となるように六角格子状に配置する。または基板上に膜を形成しその膜に孔の列を形成してもよく、それ
- 15    をふくめて基板という。その上に  $\text{Si}$  および  $\text{SiO}_2$  を高周波スパッタリング法により堆積し、その中の  $\text{SiO}_2$  の積層の一部には、高周波により電離したイオンが基板表面に入射してエッチングを行う作用、即ちスパッタエッチングと、高周波スパッタリングによる積層を同時に進行させる。成膜条件の一例を挙げる。  $\text{SiO}_2$  の成膜では、ターゲットに印加する  $\text{rf}$  電力を  $400 \text{ W}$ 、 $\text{Ar}$  流量
- 20     $72 \text{ sccm}$ 、 $\text{H}_2$  流量  $8 \text{ sccm}$ 、ガス圧力  $2.0 \text{ mTorr}$  とし、バイアス電力（スパッタエッチングのために基板電極に印加する  $\text{rf}$  電力）  $60 \text{ W}$  を一層の成膜時間すべてにわたって印加する。一方、  $\text{Si}$  の成膜では、ターゲットに印加する  $\text{rf}$  電力を  $400 \text{ W}$ 、 $\text{Ar}$  流量  $76 \text{ sccm}$ 、 $\text{H}_2$  流量  $4 \text{ sccm}$ 、ガス圧力  $3.6 \text{ mTorr}$  とし、バイアス電力の印加は行なわない。膜厚はどちらも
- 25     $0.2 \mu\text{m}$  とした。スパッタエッチングの整形作用を利用しているので、  $\text{Si}$  および  $\text{SiO}_2$  を多数周期積層しても基板上の 2 次元周期形状は失われず、数十周期の積層を行って表面の周期構造は安定であることが原子間力顕微鏡観察で確認されている。内部は図 1（具体的には図 9）に示すとおり 3 次元の周期性の高い構造を形成している。

この周期構造の形成の機構は次のようであると考えられる。スパタリングにおいて断面を図10の実線に示す基板に、膜の材料物質の粒子が拡散入射する、即ち入射角の有限の拡がりを伴って入射すると、凸部が凹部に対して蔭を作る効果により、堆積される膜には図10あるいは図11に示すように底部に屈曲（キンク）を生ずる。なお、図中の細線は膜の形成される過程を時系列的に表わしている。その効果にスパッタエッチングを重ねると、角度選択性によって肩部に一定傾斜の面が発達して図12に示すような形、または図13のような形となる。

膜形成には、膜に空間から直接入射する粒子の影響（一次効果）に加えて、膜の他の部分を経由して入射するところの原料物質またはエッチングガスの効果（二次効果）がある。すなわち、通常の成膜時、またはスパッタエッチング時には、図14のように、膜の原料物質の一部が、成膜時の分子の跳ね返り、またはスパッタエッチングによる跳びだして再付着する効果が存在する。その効果は凹凸の凸部におけるよりも凹部で顕著であるため、形成される凹部の底の形が図12、図13よりやや浅く、図15の形となる。再付着は穴または溝が深い・浅いに応じて多く・少なくなるので、積層の進行につれて、くぼみの深さと形は定常的な深さと形に自動的に調節される。また、凹凸をもつ膜の表面を必要によりスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを用いて平滑化することも可能である。また、基板には周期的な凹みだけでなく図16に示すように周期的な突起をもたせることができるのはいうまでもない。

図17、図18、図19に示すような周期的に配置された孔・溝をもつ基板、または図20に示すような非周期的に配置された孔・溝をもつ基板上にスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを同時に行なって孔・溝の底を鋭く整形することができる。また、上述の基板、またはその上に成膜して基板の凹凸の位置を保存する膜の上に、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションを行なって、図21に示すように内部に孔・溝状の空洞を形成し、表面にはなお同図に示すように基板の凹凸の位置に一致して孔・溝をもつ膜を作成することができる。これら二つの過程（鋭い底の整形・空洞の形成）を個々に、または任意の順序に組み合

わせて加工することができる。また、凹凸をもつ膜の表面を必要によりスパッタエッチングと、通常のスパッタデポジションのように粒子が拡散入射するデポジションにより平滑化することも可能であり、その応用範囲はきわめて広い。

もう一つの構造の作製方法を説明しておく。図1により説明した構造において

5 は2種類の物質が同程度の厚さをもつが、後述するように別種の機能性材料（ゲスト）を、構造を形成する単一主成分（ホスト）の凹凸表面に、ホストよりはるかに薄く積層し周期を繰り返すことが可能である。即ち、仮にゲストを導入しなければホストは結果的に均一の構造を持つ。換言すれば、均一なホスト材料の間に、ゲストの3次元周期構造を埋め込んだ構造を作製することができる。ホスト

10 を2種類以上の物質の、ゲストより厚い膜の周期構造体とするホスト・ゲスト型3次元周期構造体の形成も同様にしてなされる。なお、図1に即して説明すると、物質Aの表面とBの表面とがすべて同一であれば問題なく、仮にAの表面とBの表面が一致しなくとも異なる層の間でAどうし、Bどうしが同形をもてば周期性が保たれる。

#### 15 [実施例2]

透明体からなる、媒質内光波長の半分内外の周期をもつ3次元の周期構造については、フォトリック・バンドギャップという効果が理論上予言され、マイクロ波帯（例えば波長3cm帯）のモデル実験で理論が検証されている。3次元周期構造について説明するため、図22に3次元周期構造の概念を示す。3次元周期

20 構造は、屈折率 $n_1$ 、 $n_2$  ( $n_1 > n_2$ ) をもつ厚さ $d_1$ 、 $d_2$ の透明体16、17から構成され、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向にそれぞれ周期 $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$ 、 $z_1 + z_2$ をもつ。簡単のために $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$ ともに $z_1 + z_2$ より十分大きく（ $z_1$ 、 $z_2$ は $d_1$ 、 $d_2$ と同じ意味である）、

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

25 を満たすと仮定する。この説明から明らかなように、3次元周期構造はその作用においては1次元周期構造、2次元周期構造をその一部として含むものである。このことは本実施例に限らず本願全体についていえることである。 $z$ 方向に進む波は以下説明する性質をもつ。ある自由空間波長 $\lambda_0$ を中心とする光の波長範囲

$$\lambda_l < \lambda < \lambda_u$$

において、+z方向に進む光波は進行するに伴って振幅が指数的に減少し、伝搬することができない。-z方向にも同様である。 $\lambda_0$ の満たす条件は、

$$\lambda_0/4 = n_1 d_1 (= n_2 d_2)$$

であり、

$$\begin{aligned} 5 \quad 1/\lambda_1 &= (4/\pi\lambda_0) (\tan^{-1}(n_1/n_2))^{1/2} \\ 1/\lambda_u &= (4/\pi\lambda_0) (\tan^{-1}(n_2/n_1))^{1/2} \end{aligned}$$

である。

$n_2/n_1$  が1に近いときは

$$(\lambda_u - \lambda_1)/\lambda_0 \sim (4/\pi) ((n_1/n_2) - 1)$$

$$10 \quad (\lambda_0 \text{ は } \lambda_u, \lambda_1 \text{ のほぼ中心})$$

で与えられる。この現象をBragg遮断という。遮断の中心波長は周期の長さに比例する。遮断の生ずる波長域の幅は $n_1$ と $n_2$ とがほぼ一致するとき0に近づき、

$n_1$ と $n_2$ の比が大きくなるとき幅は $\lambda_0$ の数分の一のオーダーとなる。ゆえに、いわゆるBragg波長 $\lambda_0$ からある程度離れた波長の光も $n_1/n_2$ の比が十分大きい

15 と遮断される。構成材料をa-Si(屈折率3.24)およびSiO<sub>2</sub>(屈折率1.46)とする。この材料系で上式により $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$ を求めるとそれぞれ $1/\lambda_0$ から25%減、25%増となる。

また、HF水溶液によって、Siを残してSiO<sub>2</sub>を選択的に溶かし去ることができる。そのあとを例えば空気で満たすとき、この構造において屈折率比は

20 3.24:1になり、同様に $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$ は $1/\lambda_0$ から35%減、35%増となる。

以上、説明の便のため $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$ は $z_1 + z_2$ より十分大きいとしたが、一般にはx、y、z方向の周期を同程度にしたいことが多い。3次元周期構造において、任意の方向に向う波は一般に立体角方向ごとに異なる周期を見るので、それぞれの方向ごとの遮断波長帯をもつ。特定の自由空間波長 $\lambda_s$ をもつ光  
25 が、その3次元周期構造内のすべての立体的な方向に関して遮断波長帯に共通に含まれるならば、波長 $\lambda_s$ の光をその3次元周期構造の中に完全に閉じ込めることができる。

一例として図9に示すように周期構造を形成した。方向x、y、zに対する周

期はそれぞれ  $0.87\ \mu\text{m}$ 、 $0.5\ \mu\text{m}$ 、 $0.4\ \mu\text{m}$  となる。材料系は  $\text{a-Si}$  および  $\text{SiO}_2$  である。数十周期にわたる周期性が確認された。

具体的に示すならば、 $xy$  面内に六方対称、 $z$  方向に周期的な構造ではいわゆるブリュアン域は一例として図 23 に示す形をとる。波数の原点は六角柱の中心である。比  $n_1/n_2$  が十分大きいと、考えている波長  $\lambda_s$  がブリュアン域の表面全体において遮断域に共通に含まれ波が一切放射しない。それより  $n_1/n_2$  が小さくなると例えば図の白い部分を除く表面に対し  $\lambda_s$  は遮断域に共通に含まれ、後に示すように多くの応用には十分である。すなわち六角柱の中心から、灰色で示した領域内の一点へ向かう方向の放射波は抑圧され遮断される。

また、本例においても本出願全体でも「周期構造」という語を用いているが、勿論出願全体を通じて、周期性が厳密に成り立っていることに限定されない。作成条件の周期性からの小さい変化は影響が小さい。あるいは意図的に周期性をわずかに乱すことにより次のような効果を生むことができる。

図 24 に示すように、基板上の周期孔を 1 個または数個を省いて基板を作製し、その上に  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  の周期構造を実施例 1 のごとく形成すれば、周期性の乱れた部分が基板に垂直な方向に線状に形作られる。このような領域に沿って光波を伝搬させることができるので、放射の禁止された特異な空間と外部の空間とを結ぶ光の取り出し口・導入口とすることができる。ゆえに周期構造中のこのような乱れは有用である。

同様に 3 次元フォトリックバンドギャップ構造中の点状ないし有限長の線状の乱れ、ループ状の乱れは共振器の動作を行う。

図 25 には、積層方向および基板面内で、周期を空間的に三つの軸方向ともにゆるやかに変化させて実施例 1 の方法により形作った 3 次元フォトリックバンドギャップ構造を示す。3 次元フォトリックバンドギャップ構造内の特定の方向をもつ光に関し、Bragg 遮断条件を満たす周期の部分が空間内の適当な位置において存在するので、光はその領域で折り返すことになり、広い波長域、広い立体角範囲にフォトリックバンドギャップ構造特性が保証される。 $x$ 、 $y$  方向には変調なく、 $z$  方向のみに周期を変調するなどの拡張も勿論可能である。

[実施例 3]

本実施例は3次元フォトリソニックバンドギャップ構造において、光を外部との間で出し入れする導波路や内部で波長を選択する共振器、分岐器などの回路素子の作製方法に関するものである。さきに図24で説明した通り光を積層面に直角をなす方向に出し入れすることができる。また、図26は直角格子状の回路素子の形成方法を説明している。石英基板上に図27に示す如く孔の列を形成する。ここで、線 $\Gamma_1\Gamma_4$ に沿ってx方向の周期にずれを与える。その上にSi/SiO<sub>2</sub>を実施例1のプロセスにより積層する。積層を十分な数繰り返したのち、面 $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ において積層の厚さ方向に図26に示すずれを与える。この方法により光のパワーを線 $O_1O_2$ の近くに局在させ、 $O_1O_2$ に沿って伝搬させることができる。

この構造において次のことが生ずる。面 $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ におけるずれにより、光は $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ から左方にも右方にも、遠ざかるにつれ振幅が指数的に減少するので波は $\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3$ に沿い局在する。また $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ におけるずれにより光は $\Sigma_1\Sigma_2\Sigma_3$ から上方にも下方にも遠ざかるにつれ振幅が指数的に減少する。その両方の作用により波は $O_1O_2$ に沿い局在し、その方向に伝搬が生ずる。

周期性のずれを用いる伝搬路の形成とは別に、屈折率の異なる部分の導入による伝搬路の形成が可能である。図28には図1に示したSi/SiO<sub>2</sub>3次元周期構造の作製中の、SiO<sub>2</sub>が積層された状態の、yz断面を示す。表面にレジスト18を設け、y方向に1周期ないし数周期の幅AA'をリソグラフィにより取り除く。ストリップ状の開口AA'からドライエッチングによりSiO<sub>2</sub>を一部除去するか、またはそれより深く除去する。これを点線で示す。そこへSiをスパッタリングにより埋め戻し、ほぼ原表面に復した後、レジストをリフトオフ法により除去する。この操作によって表面凹凸の周期構造を保ち、その上に実施例1に従ってz方向に多数回成膜を続ける。なお上記のプロセスにおいて、断面のy方向周期性を甚しく損なわない範囲で、SiO<sub>2</sub>のドライエッチング操作を省略すること、またはSiによる埋め戻し操作を省略することも可能である。また、上記の構造において、SiとSiO<sub>2</sub>の役割を入れ替えることも可能である。

この作製法により光を波長選択性共振、分岐、結合、反射させることができ



る。これらの回路では放射が抑圧されている、ないし放射が生ずる方向が限定されているため放射損失が減少し、従来の光回路では過大な放射損失のため実現できなかった構成が可能になっている。即ち、図23の例で云うと、考えている回路素子から強く放射の生じ得る方向を、灰色の部分がおおっていれば放射損失を防止できる。上面からの透視図でそれぞれの回路を以下表す。

図29においては、入射導波路Aからの光波はB、Cに分岐される。

図30には三様の共振器を例示している。共振器B上に光波が定在波を形成する条件をみたす波長の近傍においてAからの光波はCに透過し、それ以外では波は反射される。共振器Eは導波路Dとのみ結合する。共振条件外ではDから入った波は内部損失の分を除けば全部反射される。共振条件下では内部蓄積エネルギー、損失、(材料損失と、もし残留していれば、小さい放射損失)ともに増加するので反射係数は低下する。リング状の共振器G上で光の波長が丁度定在波条件をみたす時FからHへの透過が生ずる。

図31では、導波路ABとCDが局部的に近接し、その部分で両者の横方向に指数的に減少する波が重なり合い、二つの導波路の間のパワーのやりとり、即ち結合を生ずる。

図32では、A、Bの間に幅の狭くなった部分をおき波を部分反射させる回路C、Dの間に短い側路をおき波を部分反射させる回路を示している。

また、屈折率の異なる部分を形成するためには図28と同じくリソグラフィによってマスクを形成した後、イオン注入法を利用することができ、従って導波路、共振器、分岐器、結合器、反射器などを形成することができる。

放射の抑圧された構造(PBS, Photonic Bandgap Structure)において光回路の接続が飛躍的に自由になる効果を図33を参照しつつ例示・説明する。導波路INにより左方から入射した光は分岐器BRにより上下に別れた路をとる。下方の枝を通る光は共振器R2を経て透過、またはR2で反射する。透過する波は結合器Cへ向かう。上方の枝を通る成分は同様に振る舞い、透過する成分は結合器Cへ向かって、並行する導波路に結合する。合波された信号波はREFで示す反射器で一部は反射され、一部は出力端OUTに向かう。

このような操作を通常の光集積回路で行なうことは、過大な放射損失のため実

際は不可能であるが、P B Sの中では電気回路を接続するのと同様に実行することができ、光回路の設計の自由度が飛躍的に増大する。

図34に示す面内の導波路と図35に示す面に垂直な導波路とを組み合わせることにより、図36に一例を示す立体的な光回路を構成することができる。従来の光回路技術では高々一平面内の光回路が実現されているだけであるので、本技術により光回路の設計・作成の自由度は文字どおり新しい次元に入ることができる。

#### [実施例4]

本発明における3次元周期構造を形成する過程において生ずる、表面の2次元凹凸周期構造の凹み部または凸起部に、選択的に機能物質を導入する方法を以下説明する。積層においても、エッチングにおいても、山部、谷部それぞれをより多く積層ないしエッチする効果がそれぞれ存在することを示そう。図37には凹凸のある基板に原料物質の粒子が入射する様子を示す。基板に到来し、付着しないで反跳する粒子が基板に再到着・付着する効果は凹部において多い。即ち、原料物質の粒子が反跳する現象は凹部に選択的に堆積する効果をもつ。また、凹部は、凸部の影になり角度分散のある入射粒子が遮られるため、凸部に比べて堆積が少なくなる効果をもつ。一方、付着した粒子は熱エネルギーにより基板表面を動き回ることができる。これはマイグレーションと呼ばれる。マイグレーションにおいては、平均的に温度の高い部分から低い部分へ粒子がいわば吹き寄せられるような移動が生ずる。基板上では通常凹部が凸部より温度が高く、凹部から凸部への移動が生ずる。スパッタエッチングにおいても同様に凹部が多くエッチされる機構、逆に凸部がより多くエッチされる機構が存在する。即ち、気体イオンによるスパッタエッチングにおいても反跳イオンは存在し、反跳イオンは凸部より凹部をより多く侵食する。一方、以前に図8で説明した通り、水平面より傾斜部はより深くエッチされるので、もし表面が図38の形をしていれば谷部がより深く、表面が図39の形をしていれば山部がより深くエッチされる。

以上を要約すると、成膜条件、スパッタエッチ条件、造影効果、表面粒子の移動しやすさ、表面形状など諸条件の適切な選択によって堆積においては山部を厚くも谷部を厚くも成膜でき、エッチングについては山部を深くも谷部を深くも除

去できる。

本発明において、パタン形成法が少なくとももう一つある。機能性ゲスト材料を山または谷の平坦部に堆積し傾斜部に堆積しないようにすることもできる。即ち、凹凸表面にゲスト材料をほぼ一様な厚さに堆積し、引き続きスパッタエッチにより、平坦部をより浅く、傾斜部をより深くエッチすることによりゲスト材料を傾斜部には残さず平坦部であるところの山頂と谷底とに残すことができる。

図40は3次元の金属・絶縁物・金属(MIM)トンネル接合とその作成法を説明するためのものである。実施例1のように、基板3(熔融石英)上に凹凸パタンを形成し、その凹部に金属21の領域(例えばアルミニウム)を形成する。酸素を一時導入して21の表面を酸化し、さらに凸部に金属22の領域を形成する。但しA1は絶縁膜(アルミナ)を作るためにのみ用いて、金属21、22をPt、W、Tiなどとすることも可能である。その上にSiO<sub>2</sub>の凹凸パタンを形成し、以下繰り返すことにより、金属・絶縁物・金属トンネル接合の高密度3次元列を形成することができ、マイクロ波(ミリ波、サブミリ波を含む)の検出器として小型で高効率なデバイスを実現することができる。なお図40において、xy面上のパタンをy方向に引き伸ばされた線状またはすだれ状のパタンとして2次元化することができるのは言うまでもない。

なおMIMのトンネル接合としては各横方向周期に対応して接合を作る(図41)の他に図42のように積層化させる方法や図43、図44のような島状膜を用いてトンネル電流を流すこともできる。但し、図41や図42では金属膜が厚い場合、積層(z)方向で光が透過しないのでPBSとの組み合わせの仕方が制限される。例えば図45、図46、図47の形で用いる方法(なお図中のFU(Functional Unit: 機能単位)はMIMトンネル構造の複合体である。)、あるいは積層させて、面に沿う方向に光を伝搬させる方式が可能である。膜厚の薄い場合はこの種の制限がない。なお、MIMの利用法としては非線形のI-V特性を利用した、スイッチや検波・混合などへの応用と注入による発光を利用するもの(プラズモン発光)が可能である。非線形I-V特性等の電気特性によるスイッチング等の電子機能を用いるときは不透明の宿主材料を用いてもよい。

[実施例5]

2種類以上の材料から構成される3次元周期構造体において、構成材料をSiCやSiなどの導電性材料とすることができる。その構造においてヘテロ接合受光器を形成するなど、電子素子とフォトリック・バンドギャップ(PBG)効果を利用した光学素子を融合させた性質を持つデバイスを作製することができる。

以下、より詳しく説明する。その準備として、機能材料(Fとする)又は機能単位(FU)をフォトリック・バンドギャップ構造(PBS)に導入する方法を3つに分類する。

(イ) FUをPBS構造に囲まれる形(領域)に導入する方法(図45、図46、図47)

(ロ) PBSを構成する周期的に用いる物質(SiO<sub>2</sub>やa-Si)の一部にFを挿入して用いる方法(図48)

(ハ) PBSを構成する周期的に用いる物質(SiO<sub>2</sub>やSiなど)の一方を機能物質で構成する方法(図48)。

上のいずれの形で用いるかによって半導体や金属の構造などの構成が変わる。

以下に示す例では(イ)(ロ)(ハ)の諸例が示されている。この場合、PBSを構成する2つの物質A、Bの構成法には下記の如く少なくとも4通りのものが考えられる。

(表1)

	タイプ1	タイプ2	タイプ3	タイプ4
物質A	半導体A	2種の半導体 A <sub>1</sub> 、A <sub>2</sub> の 複合膜	半導体A	A <sub>1</sub> 、A <sub>2</sub> の 複合膜
物質B	半導体B	半導体B	絶縁膜と 半導体Bの 複合膜	絶縁膜

PBSを構成する材料をSiやSiCなどのようにすべて半導体にすると屈折率の差が小さくなるため、すべての方向に遮断帯またはある波長域における遮断特性を保つことは困難になるが、主軸方向に沿ってはバンドギャップが維持される。この種の構造では積層方向に伝導性が得られるので、様々な新しい機能が達成できる。例えばp形、n形になるように各々の層を適当にドーピングすることにより、多重又は一对のpn構造が得られるので、整流性が得られ、逆バイアスを加えた状態ではpin検出器として利用でき、順バイアスされた接合では発光素子として利用できる。なお、PBSを構成する半導体A、Bにおいて一方又は双方を超薄膜の多層構造で構成すると、量子井戸や2重障壁構造などを作り込むことができる(タイプ2)。この場合、①共鳴トンネル効果に伴う負性抵抗特性や、②順方向にバイアスされた量子井戸では2次元電子・正孔の注入に伴う発光吸収・屈折率の変調効果、さらに③逆バイアスされた量子井戸に見られるシュタルク効果(電界に伴って吸収率や屈折率の変化する効果)が現れる。

さらに(タイプ3や4のように)、絶縁膜を使用した構造では積層方向に電流を流すのは困難となるが、量子井戸薄膜の効果や絶縁膜中に分散したシリコン超微粒子などの持つ注入発光などの光学的特性があらわれる。

#### [実施例6]

本実施例では、光学的分極率が非線形性をもつ物質、あるいは非線形物質を媒質中に3次元周期的に配列した構造およびその作成方法とその効果を述べる。前記媒質は実施例2で説明した周期的な構造であっても良い。

説明の順序として、従来の技術を略述する。Cu、Au、Agなどの微粒子は非線形分極率をもつので、ガラス基板上に微粒を形成して、その上にレーザ光を照射して高調波を発生させ得ることが知られている。この場合、高調波は、空間にランダムかつ平均的には一様に存在する微粒から発生するため基本波レーザ光と一定の位相関係をもたせることができない。

実施例1で説明した通り石英基板上に周期的凹凸を形成し、その上にスパッタエッチングを少なくとも一部分に含みつつSiO<sub>2</sub>膜を堆積する。その上にCu、Au、Agなどの膜を堆積し、熱処理を行うと堆積時の跳ねかえり(反跳)により凸部より凹部により多く積層される。ただし成膜時の温度やイオン衝

撃エネルギーによる粒子の表面移動の効果を利用して凸部により多く積層することもできる。これらの効果により2次元周期形状を呈する。

- (1) その上に $\text{SiO}_2$ 膜を形成して以下繰り返すことができる。この方法によれば均質な $\text{SiO}_2$ 媒質中に非線形分極率をもつ物質が3次元周期的に配列する。故に、前述の方法で高調波を発生させたとき、配列要素間に一定の位相差が生じ、その干渉の結果、空間の特定な方向に高調波を効率よく放射させることができる。(2) その上に $\text{Si}$ 膜を形成し、(その上に $\text{Cu}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ag}$ などの膜を形成してもよく、形成せず直ちにでもよく) その上に $\text{SiO}_2$ 膜を形成し以下繰り返すことができる。この方法によれば、(1)の方法の効果に併せて、PBSの効果により高調波の放射の生ずる方向の数を一つにする、ないし(1)よりも制限することができるという効果がある。

- 金属微粒子だけでなく、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ などのニオブ酸・タンタル酸系物質は非線形光学効果をもち、スパッタリング等により薄膜化が可能であるので、それを(1)ないし(2)の方法で3次元周期構造化して非線形特性を利用することができる。

あるいは図49に断面を示すように、凹凸をもつ $\text{SiO}_2$ の上に $\text{LiNbO}_3$ (または $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ など)を薄くスパッタし、スパッタエッチングにより斜面部のみを除去して山部、谷部を残し、繰り返すことにより3次元周期構造を形成することもできる。

#### 20 [実施例7]

- 実施例6の(1)に書いたように、一様な第1のホスト透明体の中に第2の微小なゲスト透明体を3次元周期構造体として導入することができる。これは3次元の透過または反射回折格子として利用できる。ゲストは3次元的に分布するので、入射波からみたとき大きい回折断面積、即ち高い回折効率を得ることができる。なお、必要によっては表面の凹凸をバイアススパッタリングによって平滑化することができる。

#### [実施例8]

図50は発光・光増幅機能をもつ物質を含む3次元の周期構造体とその作成法を説明するためのものである。実施例1のように、石英基板上に凹凸パターンを形

成し、その上に活性元素  $E_r$  を含む  $SiO_2$  の領域を形成する。その上に  $Si$  の領域を形成する。その上に  $SiO_2$  の凹凸パタンを形成し、以下繰り返すことにより、発光・光増幅機能をもつ物質を含む3次元の周期構造体を形成することができる。

- 5 この系は光励起により  $1.5 \mu m$  帯の光を発生・増幅することができる。ブラッグ遮断の効果により、励起された  $E_r$  イオンが自発発光によりエネルギーを失う率が激減するので、光発生・増幅の効率が高まるという効果がある。なお  $SiO_2$  に  $Y$ 、 $Nd$  などをドーピングすることができる。稀土類のほかに、 $CdS$  など半導体の微結晶を実施例6のごとく成膜途中の2次元凹凸界面に導入すること
- 10 により光発生・増幅を行わせることができる。

- 図51に示すように、物質20 ( $SiO_2$ ) の凹凸面の上に  $CdS$  や  $CdTe$  などの微細結晶からなる超薄膜を形成し、スパッタエッチングにより斜面部のみを除去して山部、谷部を残し、そのうえに物質19 ( $Si$ ) を堆積する。この過程を繰り返して、 $SiO_2$  と  $Si$  からなる  $PBS$  の中に微細な  $CdS$  や  $CdTe$  などの結晶群を3次元周期的に形成することができる。 $CdS$  や  $CdTe$  などを
- 15 励起すると光を放射することができるが、 $PBS$  中の放射が遮断される方向には自発再結合発光がないので励起状態分子の利用効率が高い。

#### [実施例9]

- 本実施例では、電気光学効果をもつ物質を3次元周期構造内に配列した構造、
- 20 その作成方法例と作用効果を述べる。

- 実施例1で説明した通り石英基板上に周期的凹凸を形成する。 $SiO_2$ 、 $Si$  を順次 (スパッタエッチを含みつつ) 成膜する。 $Si$  はノンドープとする。ついで電極として  $SiO_2/Si$  の1周期ないし数周期、導電性をもたせつつ成膜する。(なお  $Si$  には  $n$  型 (または  $n^+$ )、ないし  $p$  型 (または  $p^+$ ) を用いる。こ
- 25 れらにより導電性を持つ層を  $PBS$  特性を保持したまま形成できる。

$PBS$  内部に液晶物質を導入し、ここで述べた電極により電圧を与えれば、液晶の配向を制御することができ、複屈折や屈折率を制御することができ、可変波長共振器を形成できる。

#### [実施例10]

半導体レーザなどの発光素子を3次元周期構造体中に作り込むことにより、発光素子が本来持っている自然放出光の放射を抑えることができ、これによってしきい値電流を極めて小さくすることができる。

図52には、面発光レーザあるいはマイクロキャビティレーザ(Microcavity Laser)を3次元PBS内に作製した構造を示す。当該レーザから出力導波路への結合を除いて、他の方向への自発再結合発光は著しく抑圧されるので、レーザ動作しきい値が減少し有利である。

また図53には3次元PBSとレーザを一体集積する方法および当該構造を示す。化合物半導体基板(例えばInPまたはGaAs)上に2次元凹凸を形成し、その上に実施例1、2の方法でSiO<sub>2</sub>/a-Si等の3次元PBSを形成し、ドライエッチングにより基板上にとどく孔を形成する。その面の上にエピタキシャル成長により半導体レーザを作る。この構造では横方向への不要放射が禁止、または抑制されるのでレーザ動作しきい値が低下して有利である。図52および53において、電極とリードは別に設けてもよく、あるいはPBS中のSiにドーピングして電気伝導性をもたせ、電極とリードの役目をさせることもでき[実施例11]

また、PBSのプログラマブルレーザへの次の応用が可能である。別項(実施例2および図23)で述べたように、特定モードしか許されないPBS構造の内部に電氣的に励起できるpn接合や光学的に励起のできる色素などを設けた複合素子では、許されたモードに関与した発光過程のみが許され、他の自然光が特定方向に沿ってのみ放射される。こうしたPBSにおいてはその構成要素に電気光学効果のある材料を用いるとフィルター特性が外部電圧によって制御できるので、発光素子のスペクトルや発光方向を電氣的にプログラムできる。

[実施例12]

フォトダイオードなどの受光素子を導波路で外部と結合された、PBS特性をもつ3次元周期構造体中に作り込むことにより、受光器への外部からの放射即ち雑音入力を抑えることができ、これによって入力雑音の低下と受光感度の向上を図ることができる。また放射立体角の消失または減小に基き零点ゆらぎの自由度が消失または減小し、雑音がいっそう減小する。



さらに、プログラマブル受光素子を実現することが次のようにしてできる。完全な P B S 構造の内部に特定の波長域にだけ感度を持つような p n 接合や光伝導形の受光素子を組み込むと外部からの信号光も背景光も感光部に到達しない状態となる。この状態からわずかにずれた P B S を用いると、特定の波長の光のみが

5 特定の方向から光検出部に到来する。従ってこの複合素子が入射光の波長と方向（波数）に強い選択性のある複合素子に用いられる、P B S においてその構成要素に電気光学効果のある材料を用いるなどフィルター特性が外部電圧の印加によって変化できるので、受光素子の応答特性を電氣的にプログラムすることができる。

#### 10 [実施例 13]

図 18 に示すように基板上の直交する x 軸、y 軸を対称軸とした 2 次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に、共通の周期的凹凸をもつ 2 種類以上の透明物質を周期的に積層すれば、遮断周波数領域を除く一般の波長域で、その立体構造は実効的

$$15 \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

20 をもつ 2 軸異方性の人工媒質として機能する。適切な設計によれば、天然物質と異なりある範囲の媒質定数を連続的に実現できる、また遮断域近傍で現れる強い分散性のため極めて大きい異方性の実現できるという性質がある。

#### 産業上の利用可能性

25 以上のように、請求項 2 あるいは請求項 4 あるいは請求項 6 の方法によれば、スパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いる技術の形状整形効果を活かして、極めて微細な、3 次元的に周期的な構造体を工業的に作製することができるので、フォトリソグラフィ効果を実現できる。

請求項 9 によれば、前項の技術を更に発展させ、3 次元周期構造の内部に光学

的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質などを周期的に設けることができ、多種多様な電子機能、光機能が可能となる。

請求項 10 によれば、3次元周期構造の内部に発光性あるいは光増幅性物質を  
5 周期的に設けることができ、高効率な光能動素子が可能となる。

請求項 11 によれば、周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質をほぼ周期的に順次積層した構造をもつ3次元的にはほぼ周期的な構造体、即ち光波長のあ  
る範囲で遮断特性をもつ人工媒体の中に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器  
あるいは結合器あるいは反射器、または受光器等の機能部品を集積することがで  
10 き、無放射特性の利点を活用することができる。

請求項 12 によれば、3次元周期構造の内部に半導体レーザを設けることができ、自然放出光損失のない高効率のレーザ作用が実現できる。

請求項 13 によれば、基板の上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透  
15 明物質を周期的に順次積層した構造を実現できるので、任意の値の対角形誘電率  
テンソルで表される光学的2軸異方性を実現することができる。

## 請求の範囲

1. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いることにより形成したことを特徴とする3次元的に周期的な構造体。
- 5 2. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単独で、または成膜と同時に用いることにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
- 10 3. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされている事を特徴とする3次元的に周期的な構造体。
- 15 4. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされることにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
- 20 5. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主としてSiO<sub>2</sub>からなる層と主としてSiからなる層とを含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより形成したことを特徴とする3次元周期構造体。
- 25 6. 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主としてSiO<sub>2</sub>からなる層と主としてSiからなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
7. 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散

性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、孔・溝をより深く、またはその屈曲部をより鋭く整形することを特徴とする膜の製造方法。

8. 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、孔・溝を空洞に転化する効果をもつことを特徴とする膜の製造方法。
9. 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状物質を、請求項2または請求項4または請求項6の方法により周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、または2次元的に周期的な凹凸をもつ1種類以上の膜状物質を周期的に積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の膜の界面において、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質を含むことを特徴とする構造体。
10. 10. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、発光性あるいは光増幅性物質を含むことを特徴とする構造体。
15. 11. 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の内部に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器を含み一直線上にまたは一平面内または立体的に配置したことを特徴とする構造体。
12. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の内部に、半導体レーザまたは受光器を含むことを特徴とする構造体。
20. 13. 基板の上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を周期的に順次積層した構造をもち、光学的に2軸異方性を示すことを特徴とする透明3次元周期構造体。
25. 14. 1次元的に周期的な溝列、または2次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第2の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なう

ことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成することを特徴とする、回折格子の作成方法。

15. 光に対し回折作用をもつ層を複数層有することを特徴とする光回折格子。

5

10

15

20

25



Fig. 1

1/29

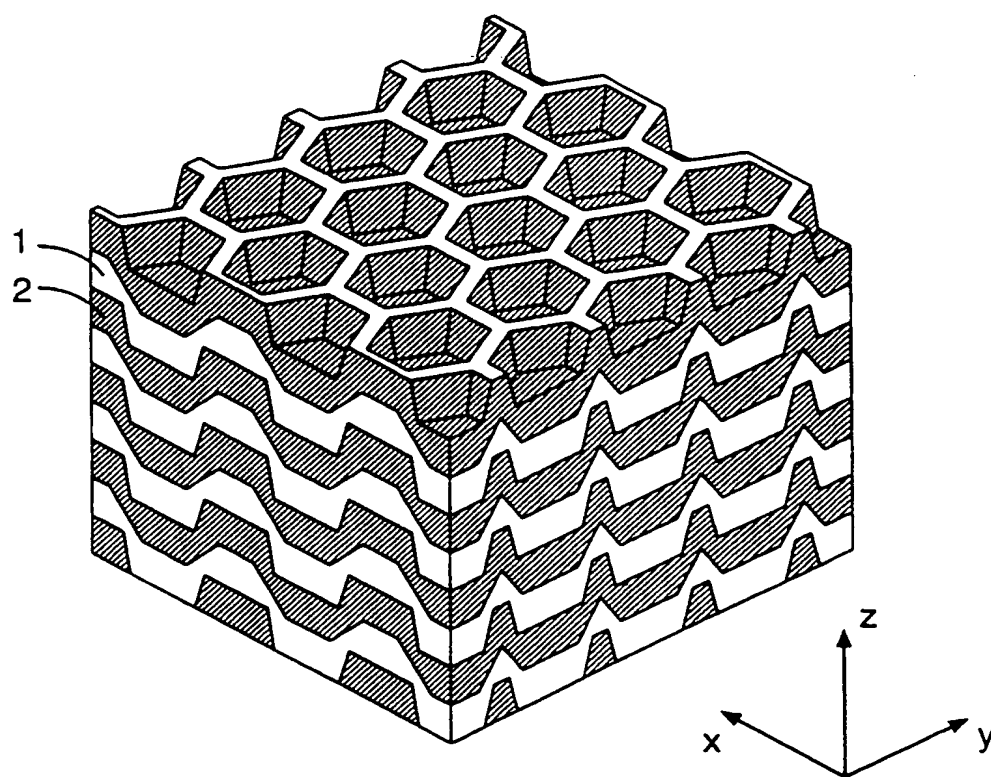






Fig. 2

2/29

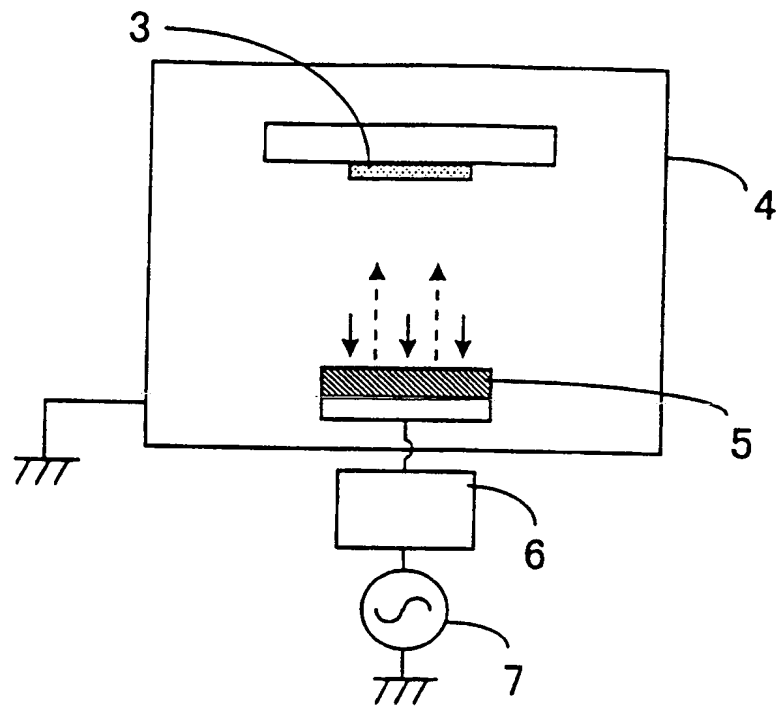


Fig. 3

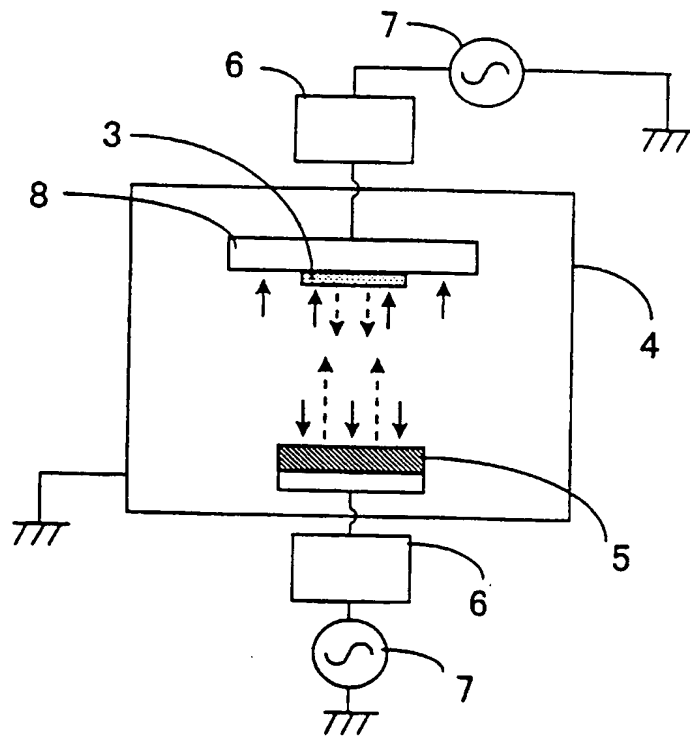




Fig. 4

3/29

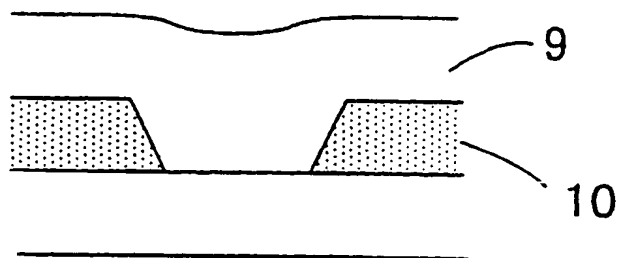


Fig. 5

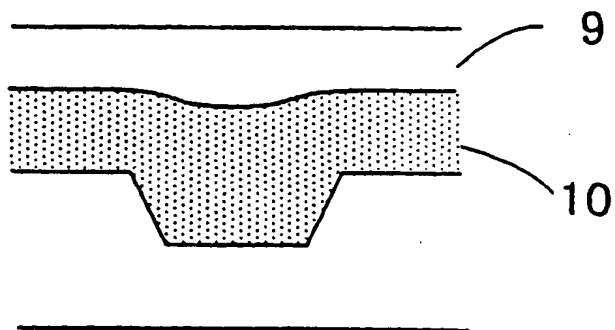




Fig. 6

4/29

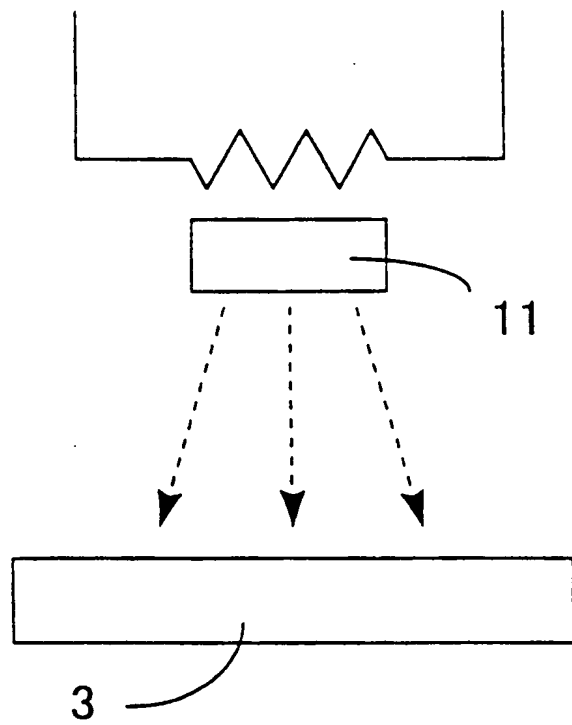
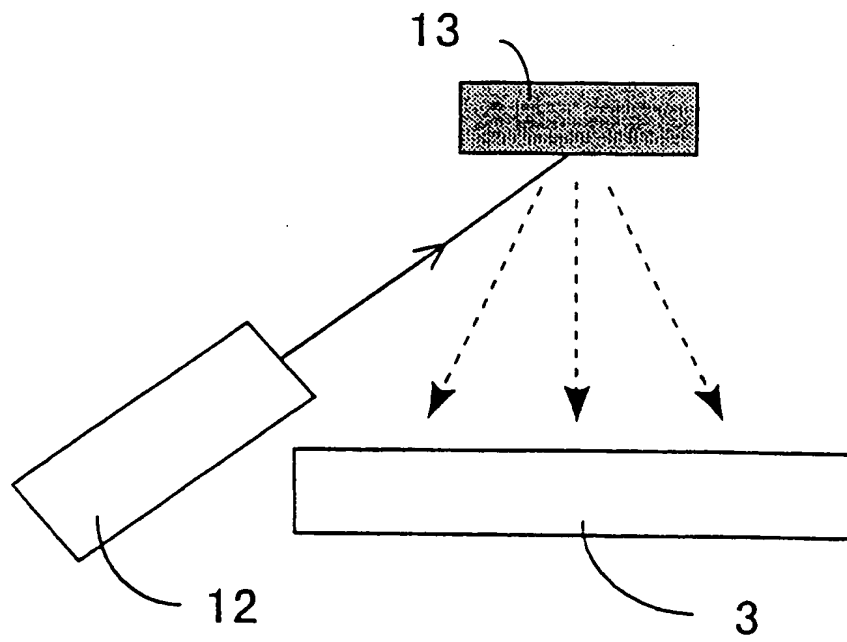


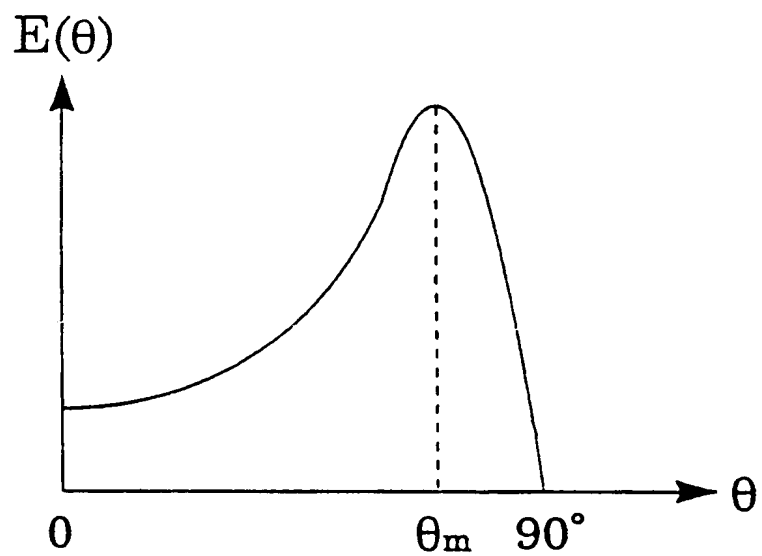
Fig. 7





F i g . 8

5/29



F i g . 9

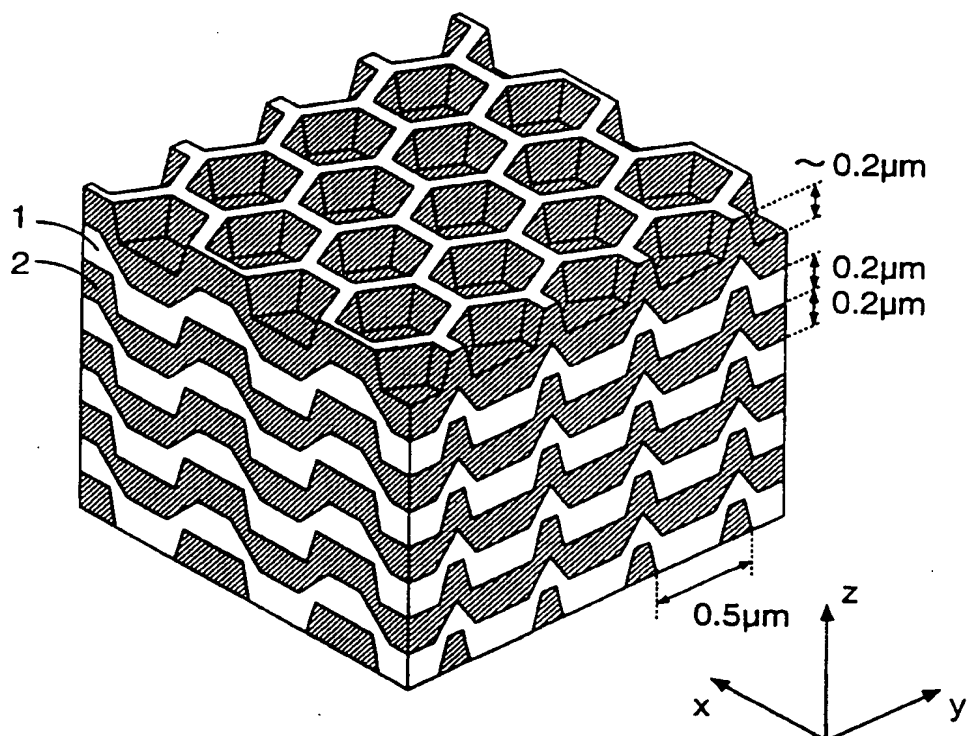






Fig. 10

6/29

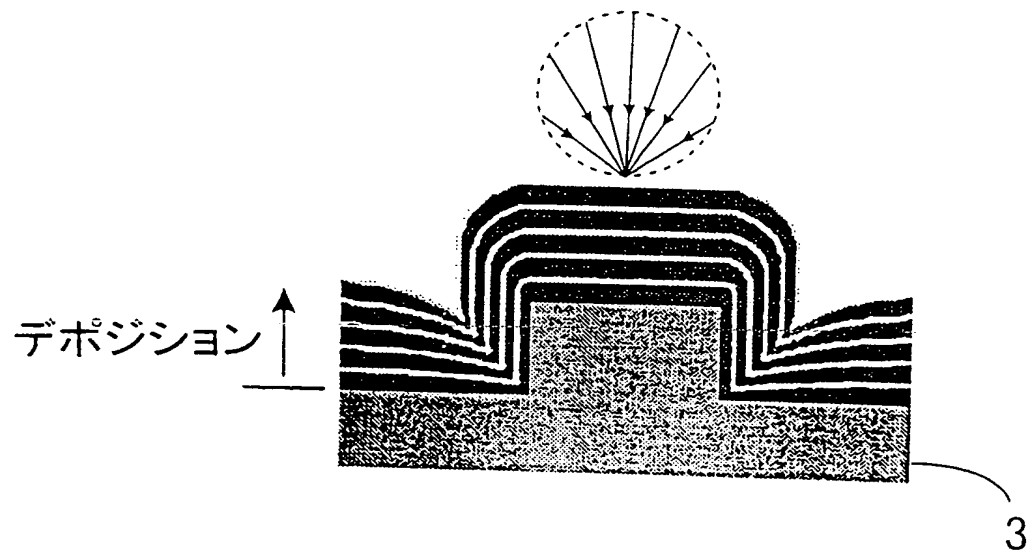


Fig. 11

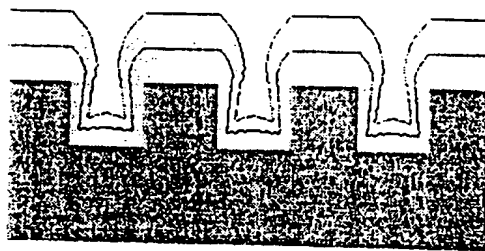




Fig. 12

7/29

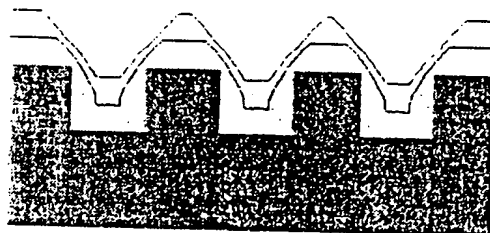
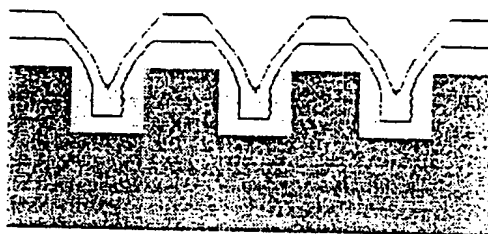


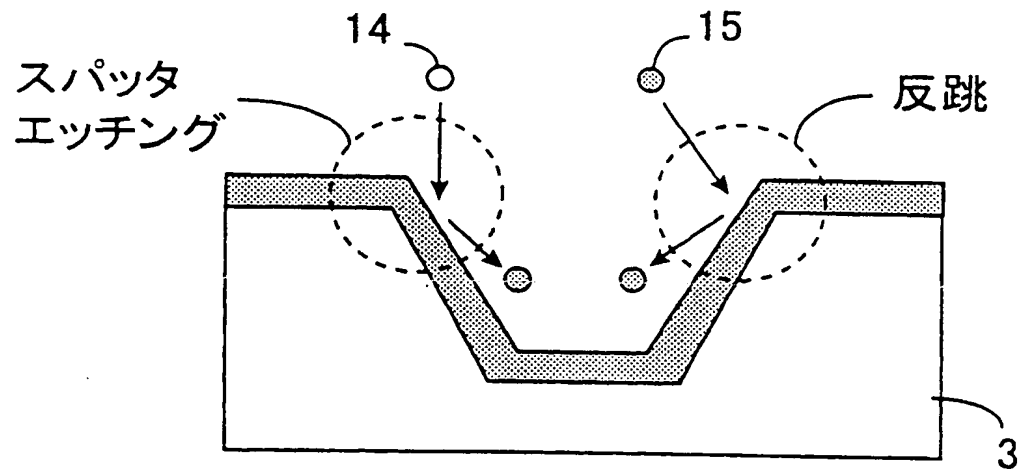
Fig. 13



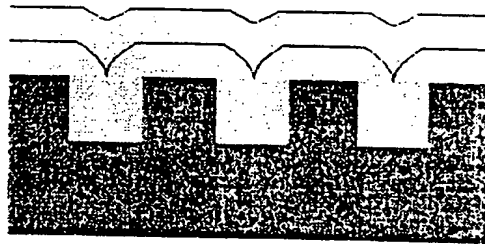


F i g . 1 4

8/29



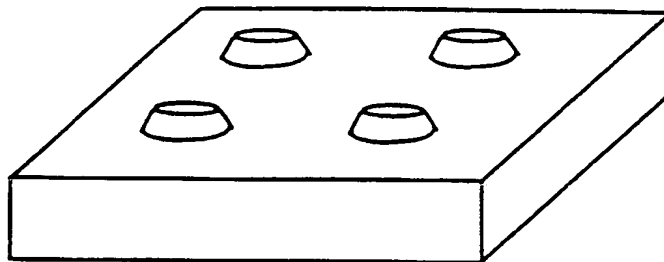
F i g . 1 5



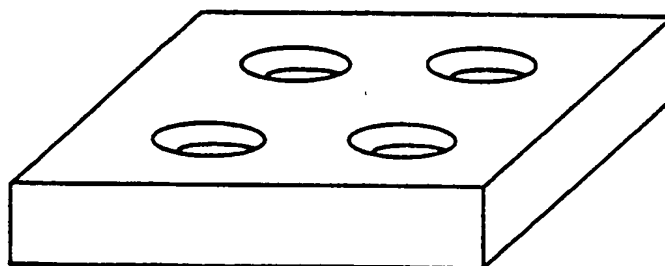


F i g . 1 6

9/29



F i g . 1 7

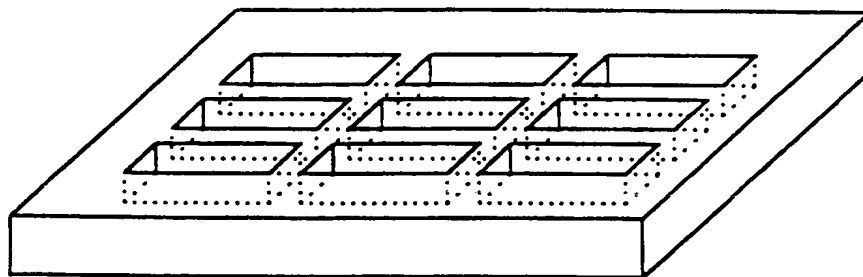




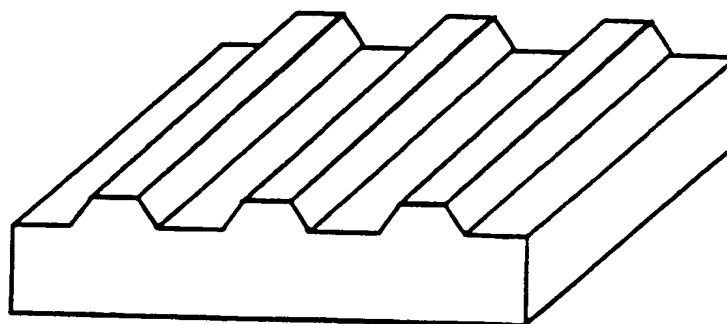


F i g. 1 8

10/29



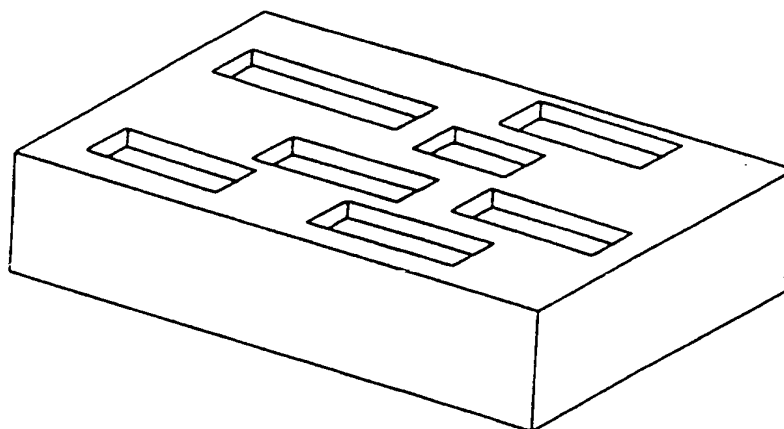
F i g. 1 9



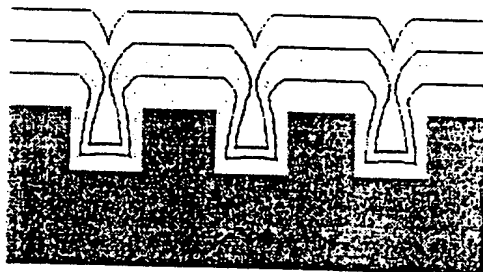


F i g . 2 0

11/29



F i g . 2 1

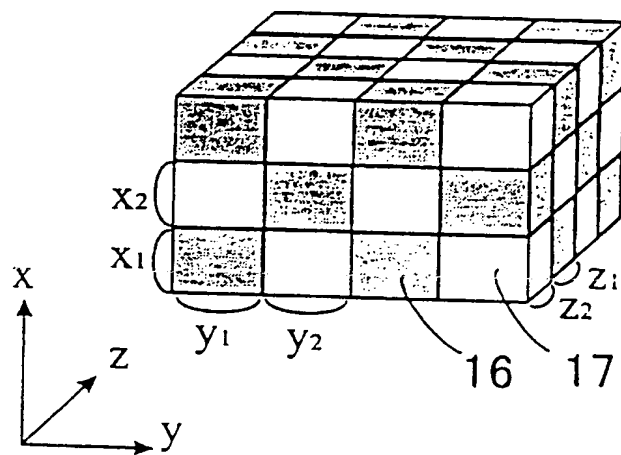


1/

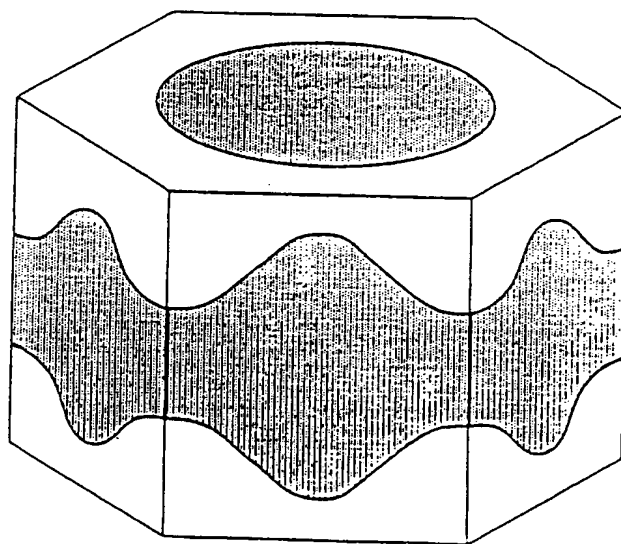


F i g. 2 2

12/29



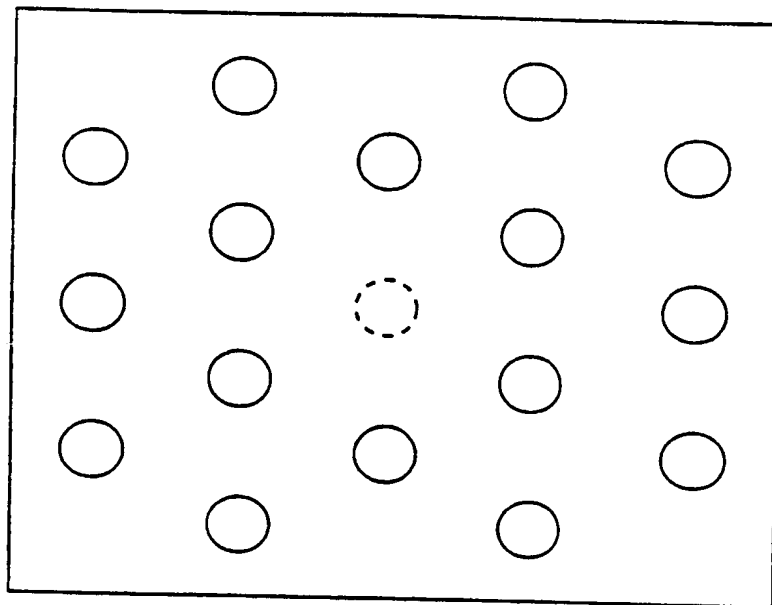
F i g. 2 3





F i g . 2 4

13/29



F i g . 2 5

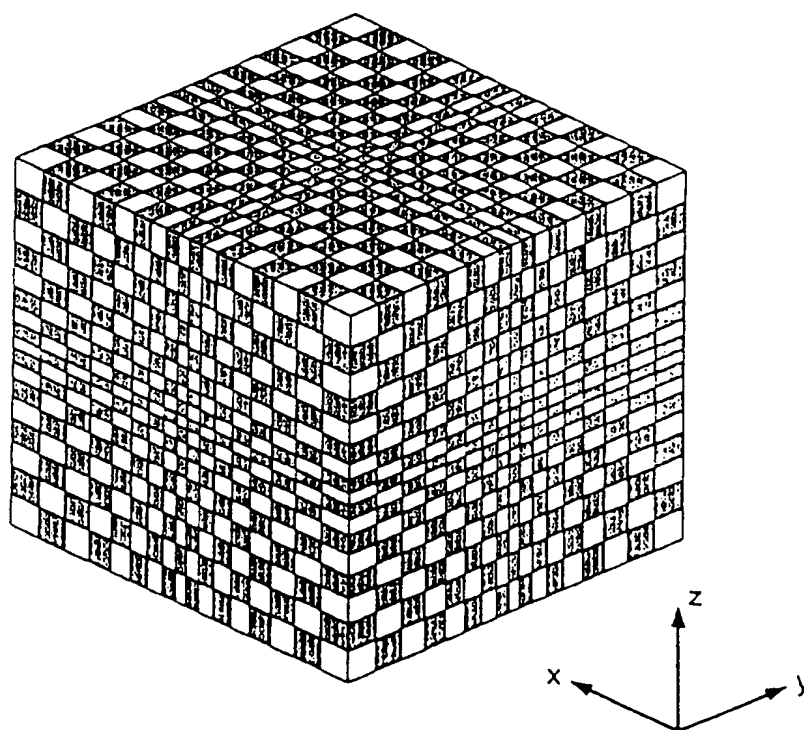






Fig. 26

14/29

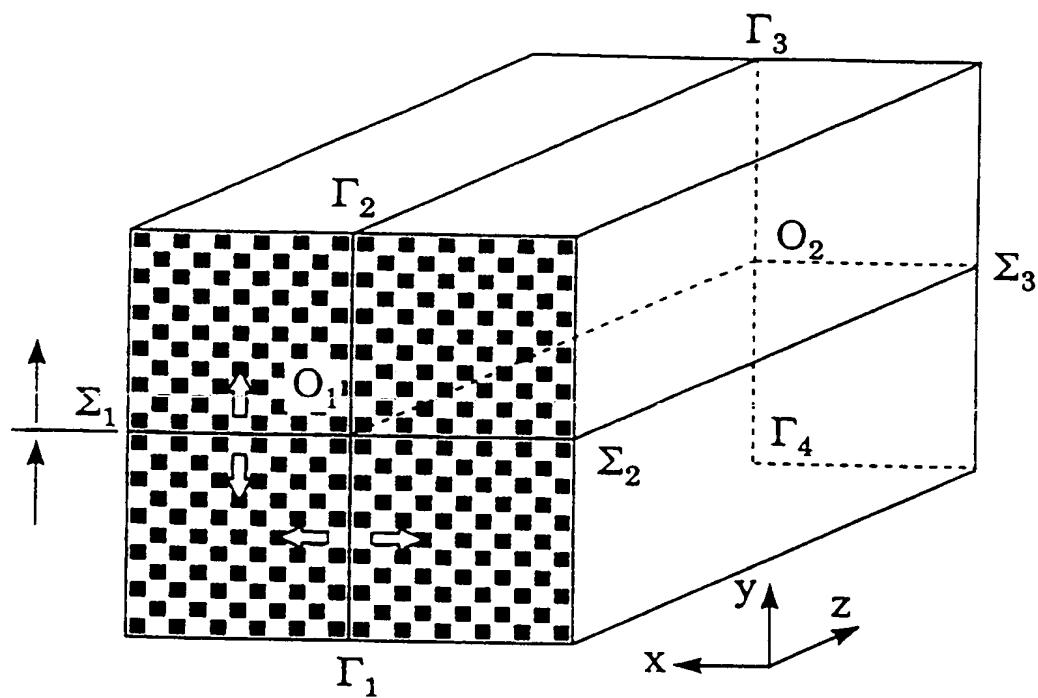
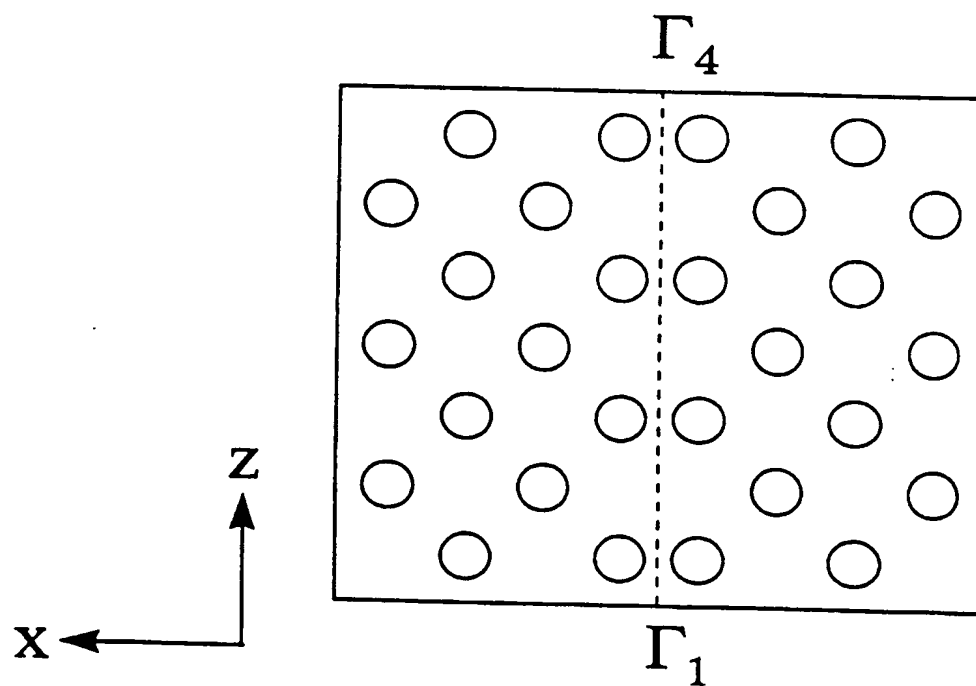


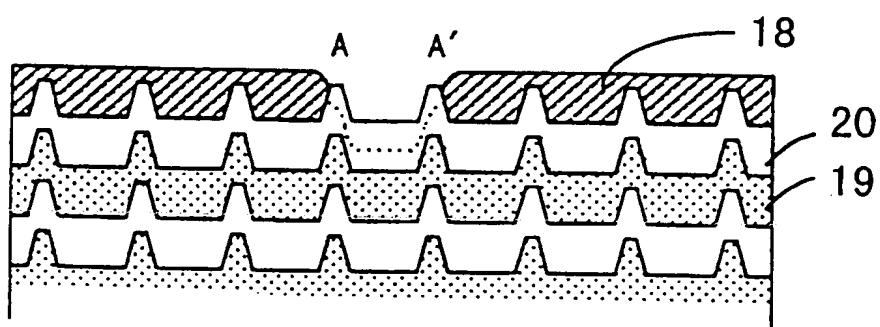
Fig. 27





F i g . 2 8

15/29



F i g . 2 9

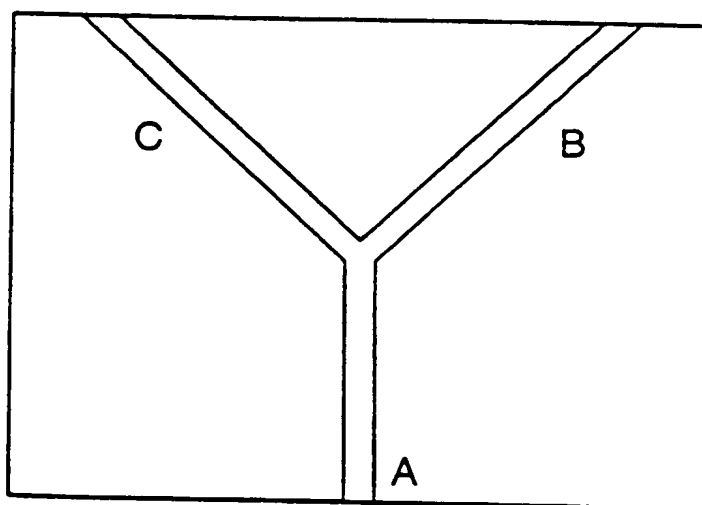




Fig. 30

16/29

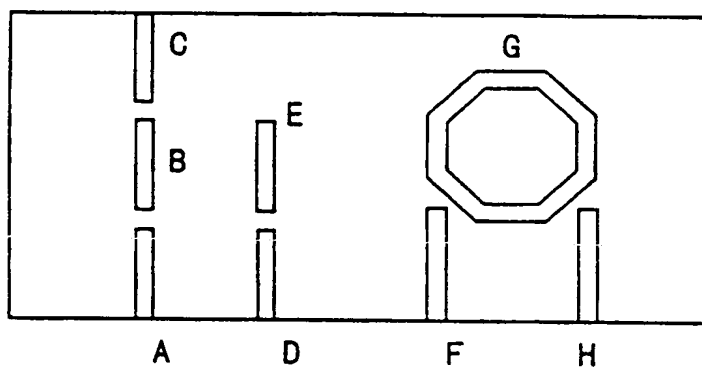
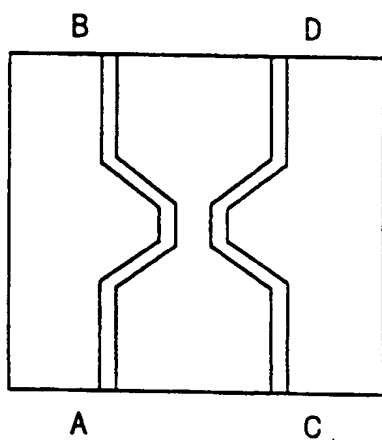


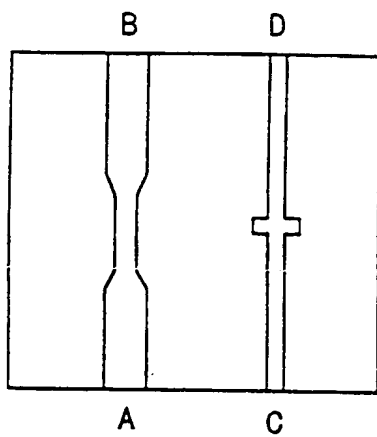
Fig. 31





F i g . 3 2

17/29



F i g . 3 3

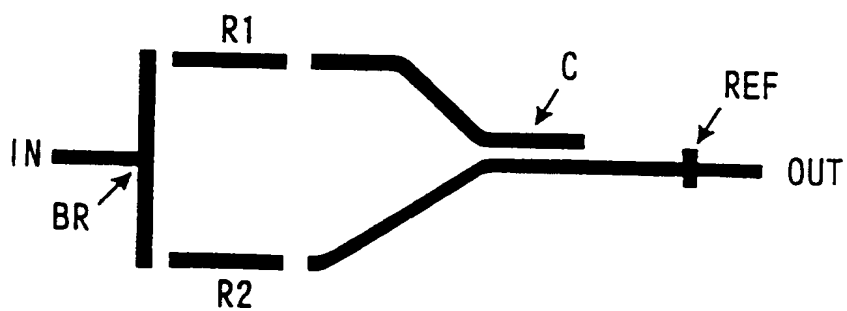






Fig. 34

18/29

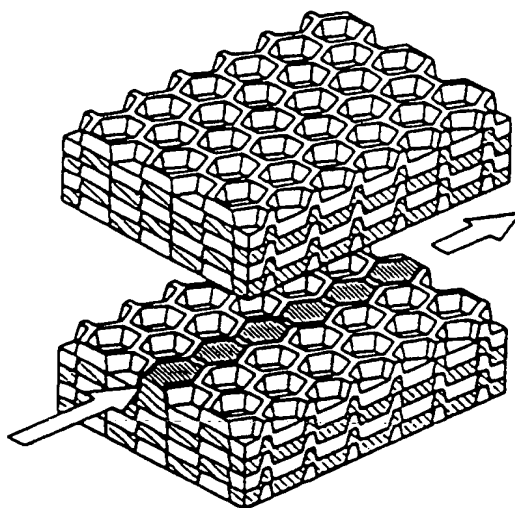


Fig. 35

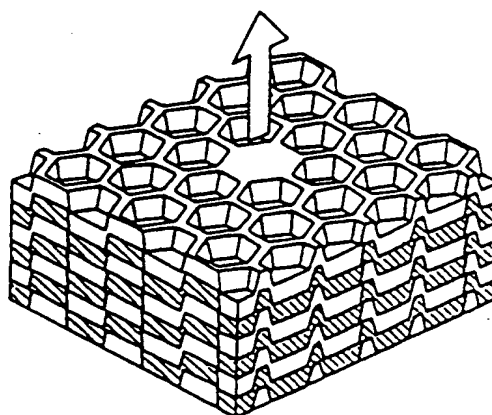
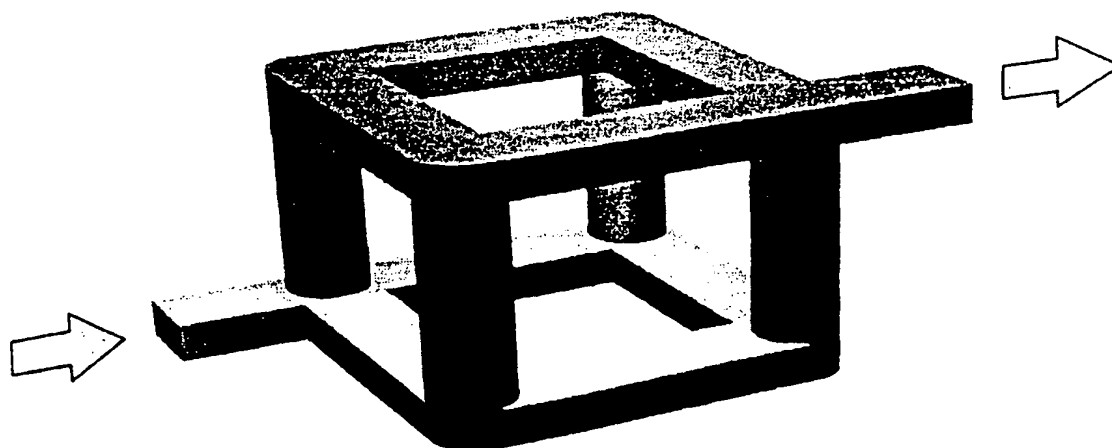


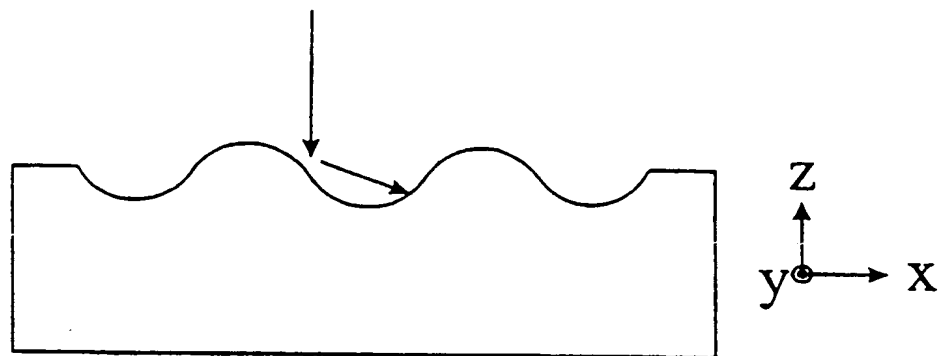
Fig. 36



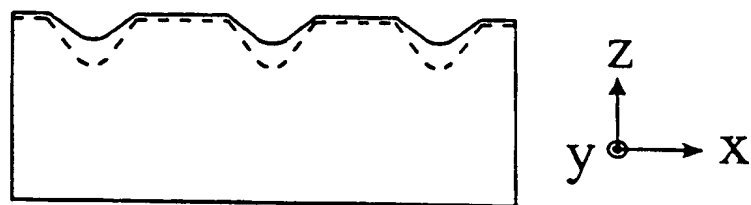


F i g . 3 7

19/29



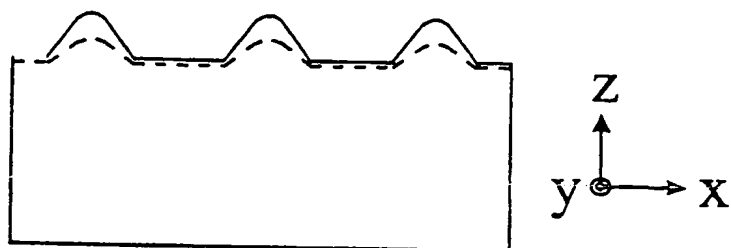
F i g . 3 8



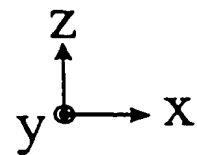
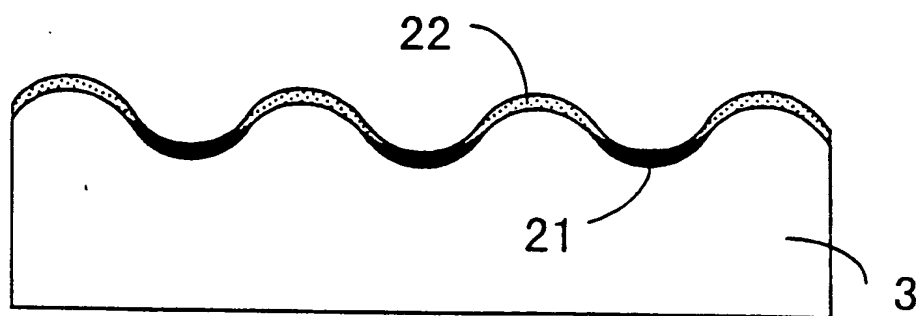


F i g. 3 9

20/29



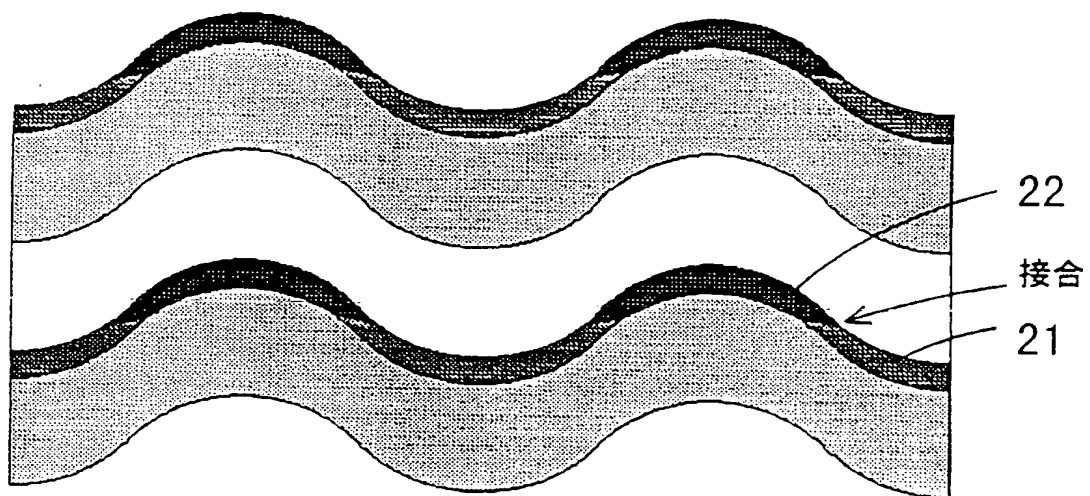
F i g. 4 0



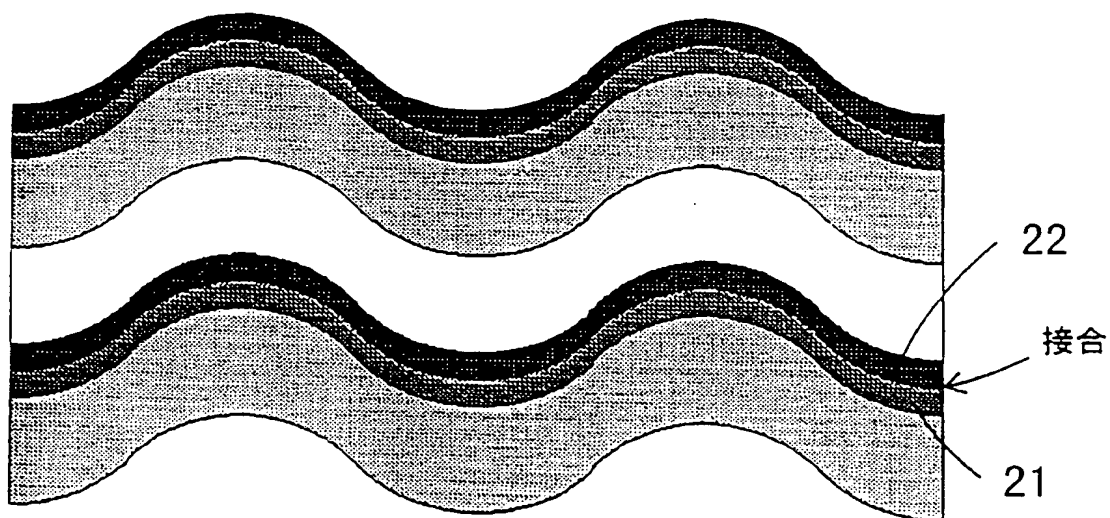


F i g. 4 1

21/29



F i g. 4 2

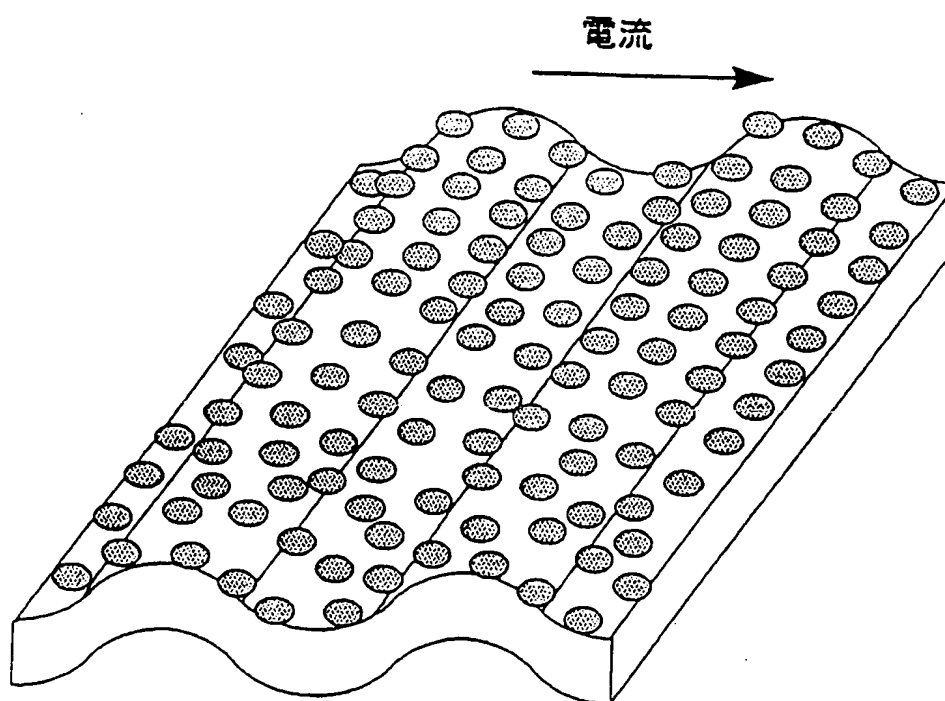






F i g . 4 3

22/29



F i g . 4 4

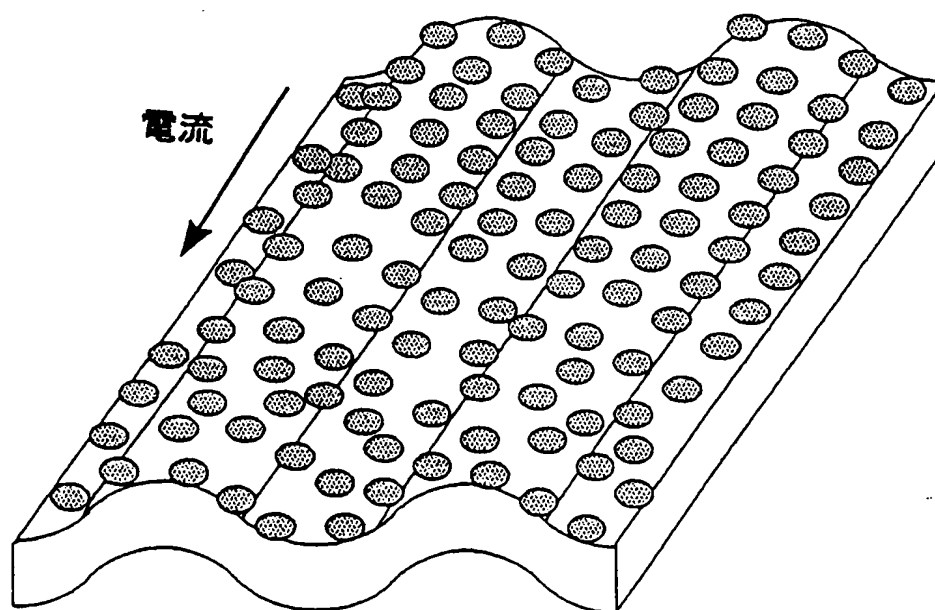




Fig. 45

23/29

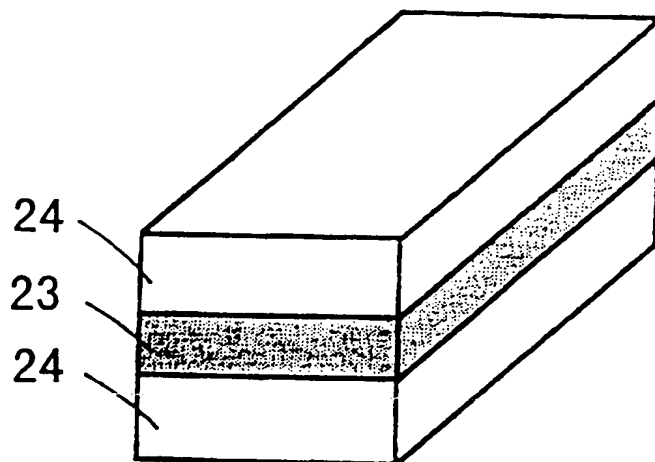


Fig. 46

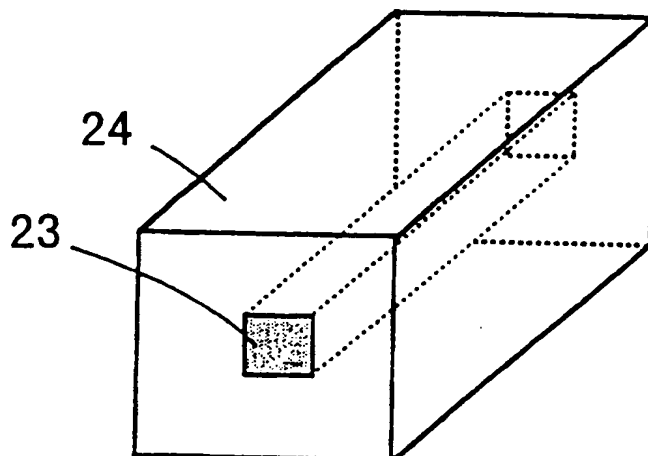


Fig. 47

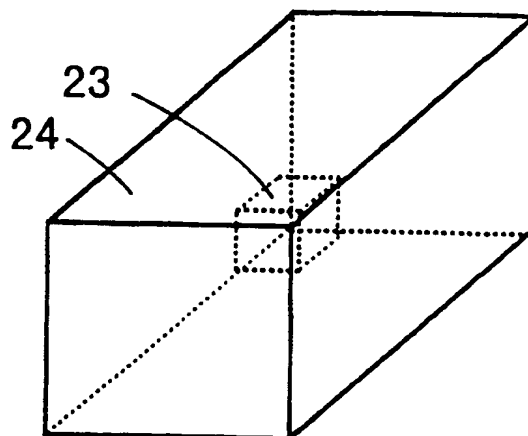




Fig. 48

24/29

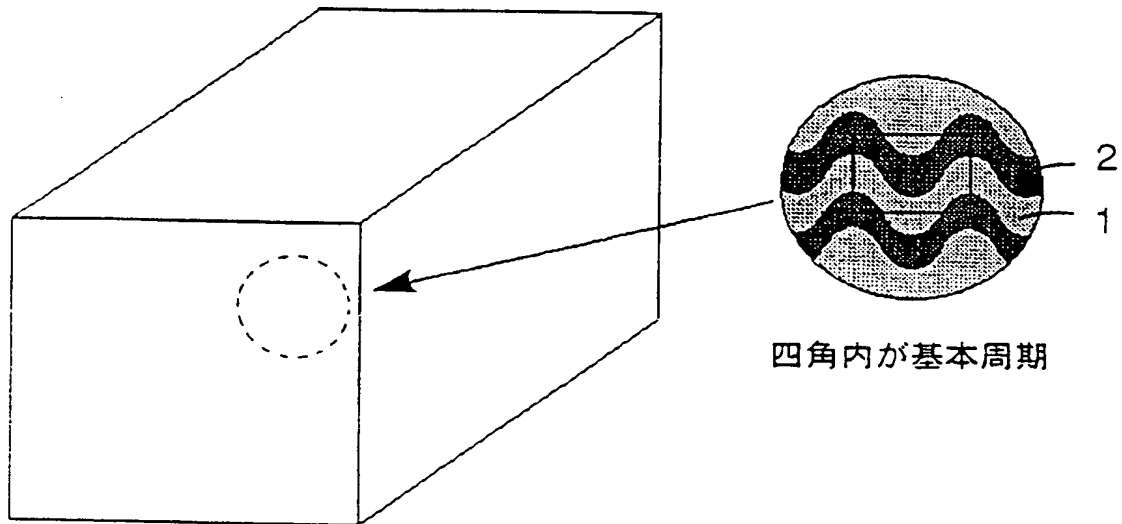


Fig. 49

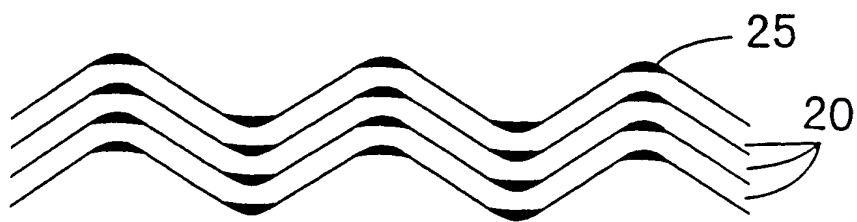




Fig. 50

25/29

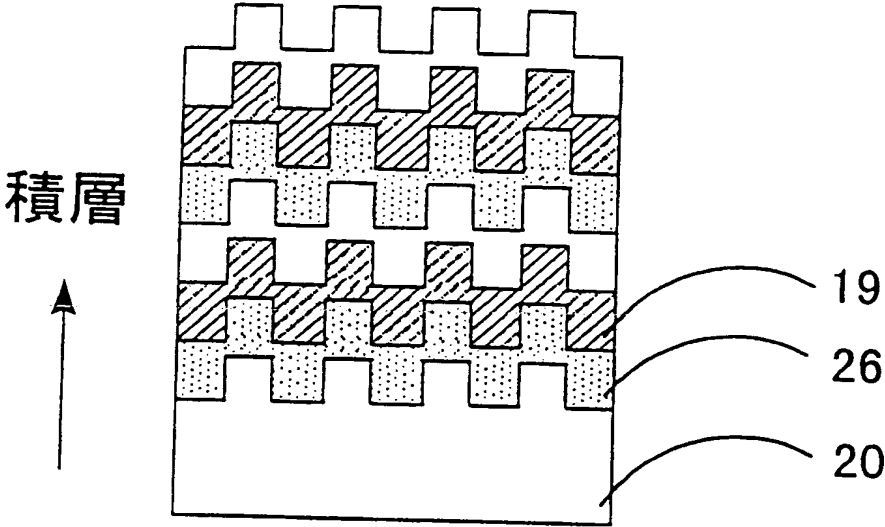
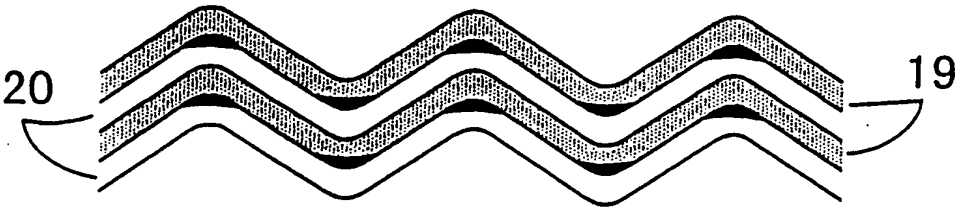


Fig. 51

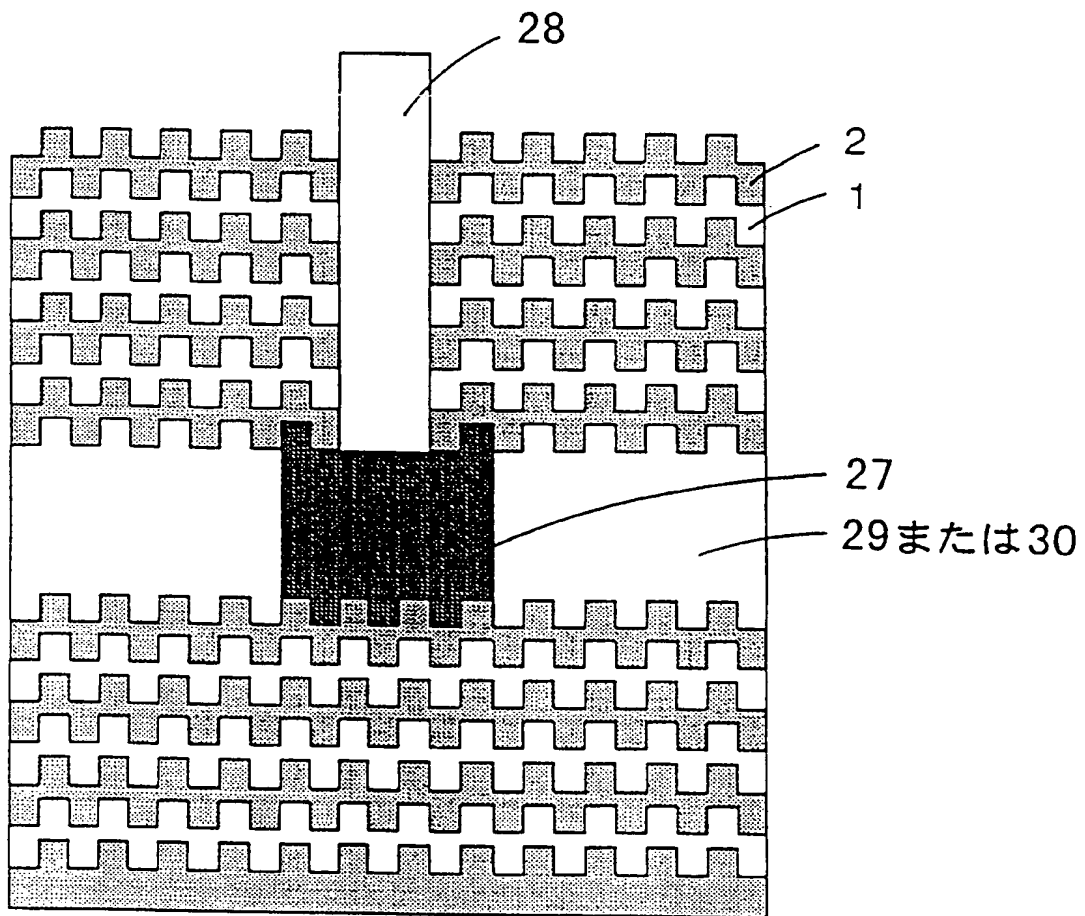






F i g . 5 2

26/29





F i g . 5 3

27/29

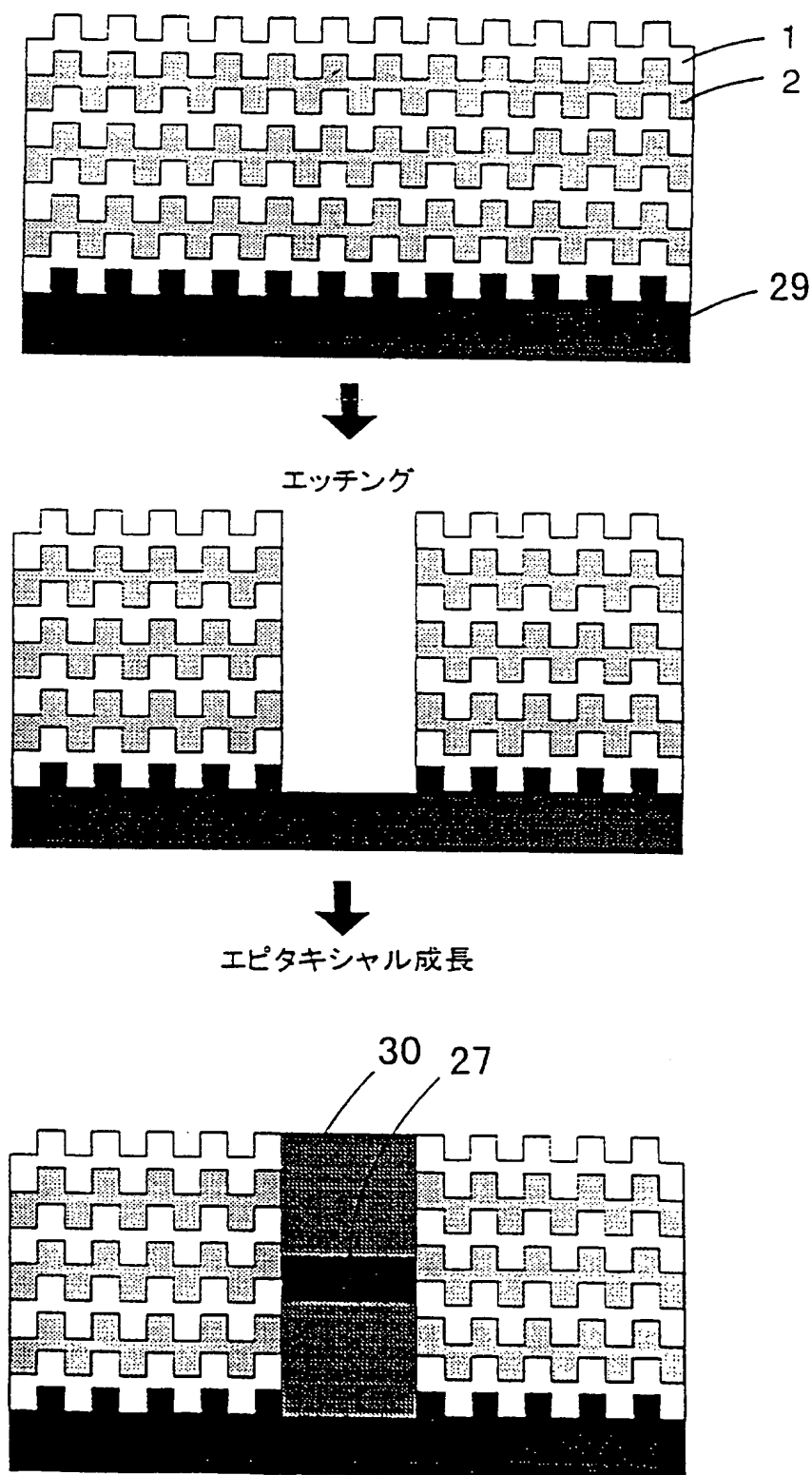




Fig. 54

28/29

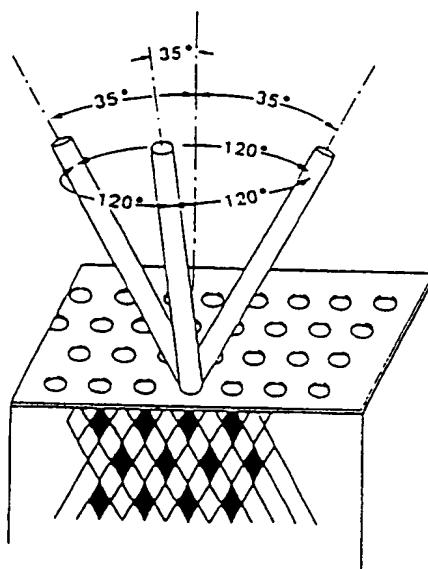
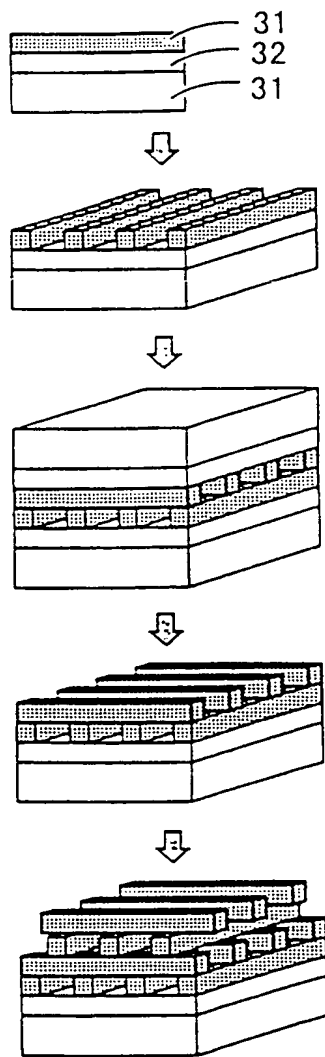




Fig. 55

29/29





,

.

,

,



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/01278

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>6</sup> G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> G02B6/12, G02B5/18, G02B5/30, G02B5/32, H01S3/18Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1972-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 62-289804, A (NEC Corp.), December 16, 1987 (16. 12. 87), Full text ; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-15
Y	JP, 58-042003, A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), March 11, 1983 (11. 03. 83), Full text ; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-15
Y	JP, 03-003285, A (Fujitsu Ltd.), January 9, 1991 (09. 01. 91), Full text ; Figs. 1 to 14 (Family: none)	10-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
June 16, 1998 (16. 06. 98)Date of mailing of the international search report  
June 23, 1998 (23. 06. 98)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



2.

3.

4.

5.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP98/01278

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G02B 6/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G02B 6/12, G02B 5/18, G02B 5/30, G02B 5/32, H01S3/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1972-1998  
日本国公開実用新案公報 1972-1998

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 62-289804, A (日本電気株式会社) 16. 12月. 1987 (16. 12. 87) 全文, 第 1 - 4 図 (ファミリーなし)	1 - 15
Y	JP, 58-042003, A (日本電信電話公社) 11. 3月. 1983 (11. 03. 83) 全文, 第 1 - 5 図 (ファミリーなし)	1 - 15
Y	JP, 03-003285, A (富士通株式会社) 9. 1月. 1991 (09. 01. 91) 全文, 第 1 - 14 図 (ファミリーなし)	10 - 12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 06. 98

国際調査報告の発送日

23.06.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

福島 浩司

印

2K

9018

電話番号 03-3581-1101 内線 3254



PCT

EP



国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
〔PCT18条、PCT規則43、44〕

出願人又は代理人 の書類記号 KAW004A	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220) 及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/J P 98/01278	国際出願日 (日.月.年) 24.03.98	優先日 (日.月.年) 29.03.97
出願人(氏名又は名称) 川上 彰二郎		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

2. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

3. ☐ この国際出願は、ヌクレオチド及び/又はアミノ酸配列リストを含んでおり、次の配列リストに基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願と共に提出されたもの

☐ 出願人がこの国際出願とは別に提出したもの

☐ しかし、出願時の国際出願の開示の範囲を越える事項を含まない旨を記載した書面が添付されていない

☐ この国際調査機関が書換えたもの

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 1 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G02B 6/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>6</sup> G02B 6/12, G02B 5/18, G02B 5/30, G02B 5/32, H01S3/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1972-1998  
日本国公開実用新案公報 1972-1998

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 62-289804, A (日本電気株式会社) 16. 12月. 1987 (16. 12. 87) 全文, 第 1-4 図 (ファミリーなし)	1-15
Y	JP, 58-042003, A (日本電信電話公社) 11. 3月. 1983 (11. 03. 83) 全文, 第 1-5 図 (ファミリーなし)	1-15
Y	JP, 03-003285, A (富士通株式会社) 9. 1月. 1991 (09. 01. 91) 全文, 第 1-14 図 (ファミリーなし)	10-12

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの  
「E」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 06. 98

国際調査報告の発送日

23.06.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

福島 浩司



2K

9018

電話番号 03-3581-1101 内線 3254





## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

## NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark  
Office  
(Box PCT)  
Crystal Plaza 2  
Washington, DC 20231  
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

<b>Date of mailing</b> (day/month/year) 04 February 1999 (04.02.99)	
<b>International application No.</b> PCT/JP98/01278	<b>Applicant's or agent's file reference</b> KAW004A
<b>International filing date</b> (day/month/year) 24 March 1998 (24.03.98)	<b>Priority date</b> (day/month/year) 29 March 1997 (29.03.97)
<b>Applicant</b> KAWAKAMI, Shojiro et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:

☒

in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:

24 March 1998 (24.03.98)

☐

in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election ☒ was☐

was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

<b>The International Bureau of WIPO</b> 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	<b>Authorized officer</b>  K. Takeda Telephone No.: (41-22) 338.83.38
--	--



## PATENT COOPERATION TREATY

## PCT

## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference KAW004A	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/JP98/01278	International filing date (day/month/year) 24 March 1998 (24.03.1998)	Priority date (day/month/year) 29 March 1997 (29.03.1997)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G02B 6/12		
Applicant KAWAKAMI, Shojiro		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 3 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 6 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 24 March 1998 (24.03.1998)	Date of completion of this report 11 January 1999 (11.01.1999)
Name and mailing address of the IPEA/JP Japanese Patent Office, 4-3 Kasumigaseki 3-chome Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan Facsimile No.	Authorized officer  Telephone No. (81-3) 3581 1101



## INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP98/01278

## I. Basis of the report

## 1. With regard to the elements of the international application:\*

- ☐ the international application as originally filed
- ☒ the description:  
pages 1-5, 7-9, 10-22, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages 6, 10, 10/1, filed with the letter of 14 August 1998 (14.08.1998)
- ☒ the claims:  
pages 9, 10, 12, 14, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, as amended (together with any statement under Article 19  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages 1-8, 11, 13, 15, filed with the letter of 14 August 1998 (14.08.1998)
- ☐ the drawings:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_
- ☐ the sequence listing part of the description:  
pages \_\_\_\_\_, as originally filed  
pages \_\_\_\_\_, filed with the demand  
pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_

## 2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language \_\_\_\_\_ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

## 3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).\*\*

\* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

\*\* Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/JP98/01278

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-15	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-15	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-15	YES
	Claims		NO

### 2. Citations and explanations





特 許 協 力 条 約

PCT

国際予備審査報告

(法第12条、法施行規則第56条)  
〔PCT36条及びPCT規則70〕

REC'D 22 JAN 1999

WIPO

PCT

出願人又は代理人 の書類記号 KAW004A	今後の手続きについては、国際予備審査報告の送付通知（様式PCT/ IPEA/416）を参照すること。	
国際出願番号 PCT/J P 98/01278	国際出願日 (日.月.年) 24.03.98	優先日 (日.月.年) 29.03.97
国際特許分類 (IPC) Int. Cl <sup>o</sup> G02B6/12		
出願人 (氏名又は名称) 川上 彰二郎		

1. 国際予備審査機関が作成したこの国際予備審査報告を法施行規則第57条 (PCT36条) の規定に従い送付する。

2. この国際予備審査報告は、この表紙を含めて全部で 3 ページからなる。

☒ この国際予備審査報告には、附属書類、つまり補正されて、この報告の基礎とされた及び／又はこの国際予備審査機関に対してした訂正を含む明細書、請求の範囲及び／又は図面も添付されている。  
(PCT規則70.16及びPCT実施細則第607号参照)  
この附属書類は、全部で 6 ページである。

3. この国際予備審査報告は、次の内容を含む。

I ☒ 国際予備審査報告の基礎

II ☐ 優先権

III ☐ 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての国際予備審査報告の不作成

IV ☐ 発明の単一性の欠如

V ☒ PCT35条(2)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明

VI ☐ ある種の引用文献

VII ☐ 国際出願の不備

VIII ☐ 国際出願に対する意見

国際予備審査の請求書を受理した日 24.03.98	国際予備審査報告を作成した日 11.01.99	
名称及びあて先 日本国特許庁 (IPEA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 福島 浩司 電話番号 03-3581-1101 内線 3254	2K 9018



## I. 国際予備審査報告の基礎

1. この国際予備審査報告は下記の出願書類に基づいて作成された。(法第6条(PCT14条)の規定に基づく命令に応答するために提出された差し替え用紙は、この報告書において「出願時」とし、本報告書には添付しない。  
PCT規則70.16, 70.17)

☐ 出願時の国際出願書類

☒ 明細書 第 1-5, 7-9, 10-22 ページ、 出願時に提出されたもの  
明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
明細書 第 6, 10, 10/1 ページ、 14. 08. 98 付の書簡と共に提出されたもの

☒ 請求の範囲 第 9, 10, 12, 14 項、 出願時に提出されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 PCT19条の規定に基づき補正されたもの  
請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
請求の範囲 第 1-8, 11, 13, 15 項、 14. 08. 98 付の書簡と共に提出されたもの

☐ 図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 出願時に提出されたもの  
図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
図面 第 \_\_\_\_\_ ページ/図、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの

☐ 明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 出願時に提出されたもの  
明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 国際予備審査の請求書と共に提出されたもの  
明細書の配列表の部分 第 \_\_\_\_\_ ページ、 \_\_\_\_\_ 付の書簡と共に提出されたもの

2. 上記の出願書類の言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願の言語である。

上記の書類は、下記の言語である \_\_\_\_\_ 語である。

- ☐ 国際調査のために提出されたPCT規則23.1(b)にいう翻訳文の言語  
☐ PCT規則48.3(b)にいう国際公開の言語  
☐ 国際予備審査のために提出されたPCT規則55.2または55.3にいう翻訳文の言語

3. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際予備審査報告を行った。

- ☐ この国際出願に含まれる書面による配列表  
☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出された書面による配列表  
☐ 出願後に、この国際予備審査(または調査)機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表  
☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった  
☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

4. 補正により、下記の書類が削除された。

☐ 明細書 第 \_\_\_\_\_ ページ  
☐ 請求の範囲 第 \_\_\_\_\_ 項  
☐ 図面 図面の第 \_\_\_\_\_ ページ/図

5. ☐ この国際予備審査報告は、補充欄に示したように、補正が出願時における開示の範囲を越えてされたものと認められるので、その補正がされなかったものとして作成した。(PCT規則70.2(c) この補正を含む差し替え用紙は上記1.における判断の際に考慮しなければならず、本報告に添付する。)



V. 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての法第12条（PCT35条(2)）に定める見解、それを裏付ける文献及び説明

1. 見解

新規性 (N)

請求の範囲 1 - 15 有  
請求の範囲 無

進歩性 (IS)

請求の範囲 1 - 15 有  
請求の範囲 無

産業上の利用可能性 (IA)

請求の範囲 1 - 15 有  
請求の範囲 無

2. 文献及び説明 (PCT規則70.7)



板 3 の表面へ入射させ（実線矢印）、基板 3 の表面から粒子を飛散させることができる。供給する高周波電力、ガス種やガス圧力、基板電極の形状などで基板に衝撃するイオンの量やエネルギーおよびスパッタの効果を制御することができる。

- 5 従来バイアス・スパッタリング法は、L S I における電極・配線のための薄膜作製プロセス（メタライゼーション）として利用されてきた。例えば、図 5 に示すように金属膜配線 10 を誘電体 9 で埋め込んで上面を平坦化させる、あるいは図 4 に示すように 2 本の配線 10 間を空洞部を生じないように埋め込むことなどの目的である。以下に説明する膜の整形のためバイアススパッタリングまたはスパッタエッチングを用いる技術は全く新しいものである。

- 10 図 6 には真空蒸着法の概念を示す。抵抗加熱ないし電子ビーム加熱された蒸着源 11 から原料物質が真空中に蒸散し、基板 3 に到着・付着する。図 7 にはレーザーアブレーション法の概念を示す。レーザー 12 より大出力のパルスレーザー光を原料物質 13 に入射させることにより原料物質の一部分を瞬間的に加熱・蒸散させ、基板 3 に到着・付着させる。

また、本発明において膜を整形する役割をもつスパッタエッチングについて説明する。スパッタエッチングと別種の成膜を同時に進行させることもできる。例えば、スパッタリングによる成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させる同時プロセスをバイアススパッタリングと呼ぶ。

- 20 図 3 の装置において、ターゲット 5 には高周波電力を加えることなく、基板電極 8 にのみ高周波電力を印加することにより、成膜の進行しない単独のスパッタエッチングが実現される。このスパッタエッチングは、前述したように膜の整形作用を有しており、ある程度の厚さに膜を成膜した後に行うことにより膜を所望の形状に整形することができる。

- 25 一方、ターゲット 5 へ高周波電源 7 を印加するとともに基板電極 8 にも高周波電源 7 を印加することにより成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させることができる。すなわち、バイアススパッタリングを進行させることができる。

なお、基板電極 8 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数、あるいはターゲット 5 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数と成膜される膜あるいはスパッタエ





において、+z 方向に進む光波は進行するに伴って振幅が指数的に減少し、伝搬することができない。-z 方向にも同様である。 $\lambda_0$  の満たす条件は、

$$\lambda_0/4 = n_1 d_1 (= n_2 d_2)$$

であり、

$$\begin{aligned} 5 \quad 1/\lambda_1 &= (4/\pi \lambda_0) (\tan^{-1}(n_1/n_2))^{1/2} \\ 1/\lambda_u &= (4/\pi \lambda_0) (\tan^{-1}(n_2/n_1))^{1/2} \end{aligned}$$

である。

$n_2/n_1$  が 1 に近いときは

$$(\lambda_u - \lambda_1)/\lambda_0 \sim (4/\pi) ((n_1/n_2)^{-1})$$

$$10 \quad (\lambda_0 \text{ は } \lambda_u, \lambda_1 \text{ のほぼ中心})$$

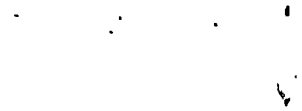
で与えられる。この現象を Bragg 遮断という。遮断の中心波長は周期の長さに比例する。遮断の生ずる波長域の幅は  $n_1$  と  $n_2$  とがほぼ一致するとき 0 に近づき、 $n_1$  と  $n_2$  の比が大きくなるとき幅は  $\lambda_0$  の数分の一のオーダーとなる。ゆえに、いわゆる Bragg 波長  $\lambda_0$  からある程度離れた波長の光も  $n_1/n_2$  の比が十分大きい

15 と遮断される。構成材料を a-Si (屈折率 3.24) および SiO<sub>2</sub> (屈折率 1.46) とする。この材料系で上式により  $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$  を求めるとそれぞれ  $1/\lambda_0$  から 25% 減、25% 増となる。

また、HF 水溶液によって、Si を残して SiO<sub>2</sub> を選択的に溶かし去ることができる。そのあとを例えば空気で満たすとき、この構造において屈折率比は  
20 3.24 : 1 になり、同様に  $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$  は  $1/\lambda_0$  から 35% 減、35% 増となる。

以上、説明の便のため  $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$  は  $z_1 + z_2$  より十分大きいとしたが、一般には x、y、z 方向の周期を同程度にしたいことが多い。3 次元周期構造において、任意の方向に向う波は一般に立体角方向ごとに異なる周期を見るので、それぞれの方向ごとの遮断波長帯をもつ。特定の自由空間波長  $\lambda_s$  をもつ光  
25 が、その 3 次元周期構造内のすべての立体的な方向に関して遮断波長帯に共通に含まれるならば、波長  $\lambda_s$  の光をその 3 次元周期構造の中に完全に閉じ込めることができる。

以上に略述したように、空間の全方向またはある範囲内の方向にわたりある波



10/1

長域の光の伝搬が禁制される効果をフォトニックバンドギャップ (Photonic Bandgap) 効果という。

一例として図9に示すように周期構造を形成した。方向  $x$ 、 $y$ 、 $z$  に対する周



## 請求の範囲

1. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単  
5 独で、または成膜と同時に用いることにより凹凸の位置を保存しつつ形成したことを特徴とする3次元的に周期的な構造体。
2. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単  
10 独で、または成膜と同時に用いることにより凹凸の位置を保存しつつ3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
3. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされ凹凸の位置を保存しつつ形成されていることを特徴とする3次元的に周期的な構造体。
- 15 4. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされることにより凹凸の位置を保存しつつ3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
- 20 5. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主として $\text{SiO}_2$ からなる層と主として $\text{Si}$ からなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより凹凸の位置を保存しつつ形成したことを特徴とする3次元周期構造体。
- 25 6. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主として $\text{SiO}_2$ からなる層と主として $\text{Si}$ からなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより凹凸の位置を保存しつつ3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方



法。

7. (補正) 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、凹凸の位置を保存しつつ孔・溝をより深く、またはその屈曲部をより鋭く整形することを特徴とする膜の製造方法。

8. (補正) 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、凹凸の位置を保存しつつ孔・溝を空洞に転化する効果をもつことを特徴とする膜の製造方法。

9. 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状物質を、請求項2または請求項4または請求項6の方法により周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、または2次元的に周期的な凹凸をもつ1種類以上の膜状物質を周期的に積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の膜の界面において、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質を含むことを特徴とする構造体。

10. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、発光性あるいは光増幅性物質を含むことを特徴とする構造体。

11. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を凹凸の位置を保存しつつ周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の内部に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器を含み一直線上にまたは一平面内にまたは立体的に配置したことを特徴とする構造体。

12. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の内部に、半導体レーザまたは受光器を含むことを特徴とする構造体。

13. (補正) 基板の上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を凹凸の位置を保存しつつ周期的に順次積層した構造をもち、光学的に2軸異方





性を示すことを特徴とする透明 3 次元周期構造体。

14. 1 次元的に周期的な溝列、または 2 次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第 2 の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なうことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成することを特徴とする、回折格子の作成方法。

15. (補正) 1 次元的に周期的な溝列、または 2 次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第 2 の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なうことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成されたことを特徴とする回折格子。

15

20

25



板 3 の表面へ入射させ（実線矢印）、基板 3 の表面から粒子を飛散させることができる。供給する高周波電力、ガス種やガス圧力、基板電極の形状などで基板に衝撃するイオンの量やエネルギーおよびスパッタの効果を制御することができる。

- 5      従来バイアス・スパッタリング法は、L S I における電極・配線のための薄膜作製プロセス（メタライゼーション）として利用されてきた。例えば、図 5 に示すように金属膜配線 1 0 を誘電体 9 で埋め込んで上面を平坦化させる、あるいは図 4 に示すように 2 本の配線 1 0 間を空洞部を生じないように埋め込むことなどの目的である。以下に説明する膜の整形のためバイアススパッタリングまたはスパッタエッチングを用いる技術は全く新しいものである。
- 10

- 図 6 には真空蒸着法の概念を示す。抵抗加熱ないし電子ビーム加熱された蒸着源 1 1 から原料物質が真空中に蒸散し、基板 3 に到着・付着する。図 7 にはレーザーアブレーション法の概念を示す。レーザー 1 2 より大出力のパルスレーザー光を原料物質 1 3 に入射させることにより原料物質の一部分を瞬間的に加熱・蒸散させ、基板 3 に到着・付着させる。
- 15

また、本発明において膜を整形する役割をもつスパッタエッチングについて説明する。スパッタエッチングと別種の成膜を同時に進行させることもできる。例えば、スパッタリングによる成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させる同時プロセスをバイアススパッタリングと呼ぶ。

- 20      図 3 の装置において、ターゲット 5 には高周波電力を加えることなく、基板電極 8 にのみ高周波電力を印加することにより、成膜の進行しない単独のスパッタエッチングが実現される。このスパッタエッチングは、前述したように膜の整形作用を有しており、ある程度の厚さに膜を成膜した後に行うことにより膜を所望の形状に整形することができる。

- 25      一方、ターゲット 5 へ高周波電源 7 を印加するとともに基板電極 8 にも高周波電源 7 を印加することにより成膜とスパッタエッチングとを同時に進行させることができる。すなわち、バイアススパッタリングを進行させることができる。

なお、基板電極 8 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数、あるいはターゲット 5 に印加する高周波電源 7 の電力や周波数と成膜される膜あるいはスパッタエ



において、 $+z$  方向に進む光波は進行するに伴って振幅が指数的に減少し、伝搬することができない。 $-z$  方向にも同様である。 $\lambda_0$  の満たす条件は、

$$\lambda_0/4 = n_1 d_1 (= n_2 d_2)$$

であり、

$$\begin{aligned} 5 \quad 1/\lambda_1 &= (4/\pi \lambda_0) (\tan^{-1}(n_1/n_2))^{1/2} \\ 1/\lambda_u &= (4/\pi \lambda_0) (\tan^{-1}(n_2/n_1))^{1/2} \end{aligned}$$

である。

$n_2/n_1$  が 1 に近いときは

$$(\lambda_u - \lambda_1)/\lambda_0 \sim (4/\pi) ((n_1/n_2)^{-1})$$

$$10 \quad (\lambda_0 \text{ は } \lambda_u, \lambda_1 \text{ のほぼ中心})$$

で与えられる。この現象を Bragg 遮断という。遮断の中心波長は周期の長さに比例する。遮断の生ずる波長域の幅は  $n_1$  と  $n_2$  とがほぼ一致するとき 0 に近づき、 $n_1$  と  $n_2$  の比が大きくなるとき幅は  $\lambda_0$  の数分の一のオーダーとなる。ゆえに、いわゆる Bragg 波長  $\lambda_0$  からある程度離れた波長の光も  $n_1/n_2$  の比が十分大きい

15 と遮断される。構成材料を a-Si (屈折率 3.24) および SiO<sub>2</sub> (屈折率 1.46) とする。この材料系で上式により  $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$  を求めるとそれぞれ  $1/\lambda_0$  から 25% 減、25% 増となる。

また、HF 水溶液によって、Si を残して SiO<sub>2</sub> を選択的に溶かし去ることができる。そのあとを例えば空気で満たすとき、この構造において屈折率比は  
20 3.24 : 1 になり、同様に  $1/\lambda_1$ 、 $1/\lambda_u$  は  $1/\lambda_0$  から 35% 減、35% 増となる。

以上、説明の便のため  $x_1 + x_2$ 、 $y_1 + y_2$  は  $z_1 + z_2$  より十分大きいとしたが、一般には  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向の周期を同程度にしたいことが多い。3 次元周期構造において、任意の方向に向う波は一般に立体角方向ごとに異なる周期を見るの  
25 で、それぞれの方向ごとの遮断波長帯をもつ。特定の自由空間波長  $\lambda_s$  をもつ光が、その 3 次元周期構造内のすべての立体的な方向に関して遮断波長帯に共通に含まれるならば、波長  $\lambda_s$  の光をその 3 次元周期構造の中に完全に閉じ込めることができる。

以上に略述したように、空間の全方向またはある範囲内の方向にわたりある波



長域の光の伝搬が禁制される効果をフォトニックバンドギャップ (Photonic Bandgap) 効果という。

一例として図9に示すように周期構造を形成した。方向  $x$ 、 $y$ 、 $z$  に対する周





## 請求の範囲

1. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単  
5 独で、または成膜と同時に用いることにより凹凸の位置を保存しつつ形成したことを特徴とする3次元的に周期的な構造体。
2. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分にスパッタエッチングを単  
10 独で、または成膜と同時に用いることにより凹凸の位置を保存しつつ3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
3. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされ凹凸の位置を保存しつつ形成されていることを特徴とする3次元的に周期的な構造体。
- 15 4. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に2種類以上の物質を周期的に順次積層し、周期中のそれぞれ少なくとも一部分においてスパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとがなされることにより凹凸の位置を保存しつつ3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方法。
- 20 5. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主として $\text{SiO}_2$ からなる層と主として $\text{Si}$ からなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより凹凸の位置を保存しつつ形成したことを特徴とする3次元周期構造体。
- 25 6. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に主として $\text{SiO}_2$ からなる層と主として $\text{Si}$ からなる層を含む少なくとも2種以上の層を周期的に順次積層し、その積層の中の少なくとも一部分をスパッタエッチングとスパッタデポジションとを交互に、または同時に行なうことにより凹凸の位置を保存しつつ3次元的に周期的な構造を形成することを特徴とする3次元周期構造体の作製方



法。

7. (補正) 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、凹凸の位置を保存しつつ孔・溝をより深く、またはその屈曲部をより鋭く整形することを特徴とする膜の製造方法。

8. (補正) 基板の上に1個以上の孔・溝を設け、その上にスパッタエッチングと拡散性のデポジションをそれぞれ少なくともその一部に含む過程により、凹凸の位置を保存しつつ孔・溝を空洞に転化する効果をもつことを特徴とする膜の製造方法。

9. 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状物質を、請求項2または請求項4または請求項6の方法により周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、または2次元的に周期的な凹凸をもつ1種類以上の膜状物質を周期的に積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の膜の界面において、光学的分極率が非線形性をもつ物質、または電気光学材料、または透明体、または導電性物質を含むことを特徴とする構造体。

10. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の少なくともその一部分において、発光性あるいは光増幅性物質を含むことを特徴とする構造体。

11. (補正) 2次元的に周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を凹凸の位置を保存しつつ周期的に順次積層した構造をもつ3次元的に周期的な構造体の内部に、導波路あるいは共振器あるいは分岐器あるいは結合器あるいは反射器を含み一直線上にまたは一平面内にまたは立体的に配置したことを特徴とする構造体。

12. 2種類以上の透明体よりなる、請求項2または請求項4または請求項6の方法により作成された3次元的に周期的な構造体の内部に、半導体レーザまたは受光器を含むことを特徴とする構造体。

13. (補正) 基板の上の直交するx軸、y軸を対称軸とした2次元的に周期的な凹凸をもつ基板の上に共通の周期的な凹凸をもつ2種類以上の膜状透明物質を凹凸の位置を保存しつつ周期的に順次積層した構造をもち、光学的に2軸異方



性を示すことを特徴とする透明3次元周期構造体。

14. 1次元的に周期的な溝列、または2次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第2の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なうことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成することを特徴とする、回折格子の作成方法。

15. (補正) 1次元的に周期的な溝列、または2次元的に周期的な有限な長さの溝列をもつ透明基板の上に、基板と同種の物質による、基板と凹みの位置の一致した溝をもつ膜と、主として溝に埋め込まれた第2の透明物質とを、スパッタエッチングと拡散入射性のデポジションとをそれぞれ少なくとも一部分において行なうことにより回折作用をもつ層を複数回積層して作成されたことを特徴とする回折格子。

15

20

25

